A richiesta il doppio DVD con i primi 500 numeri della rivista

Settembre 2010 € 3,90

# Le Scienze

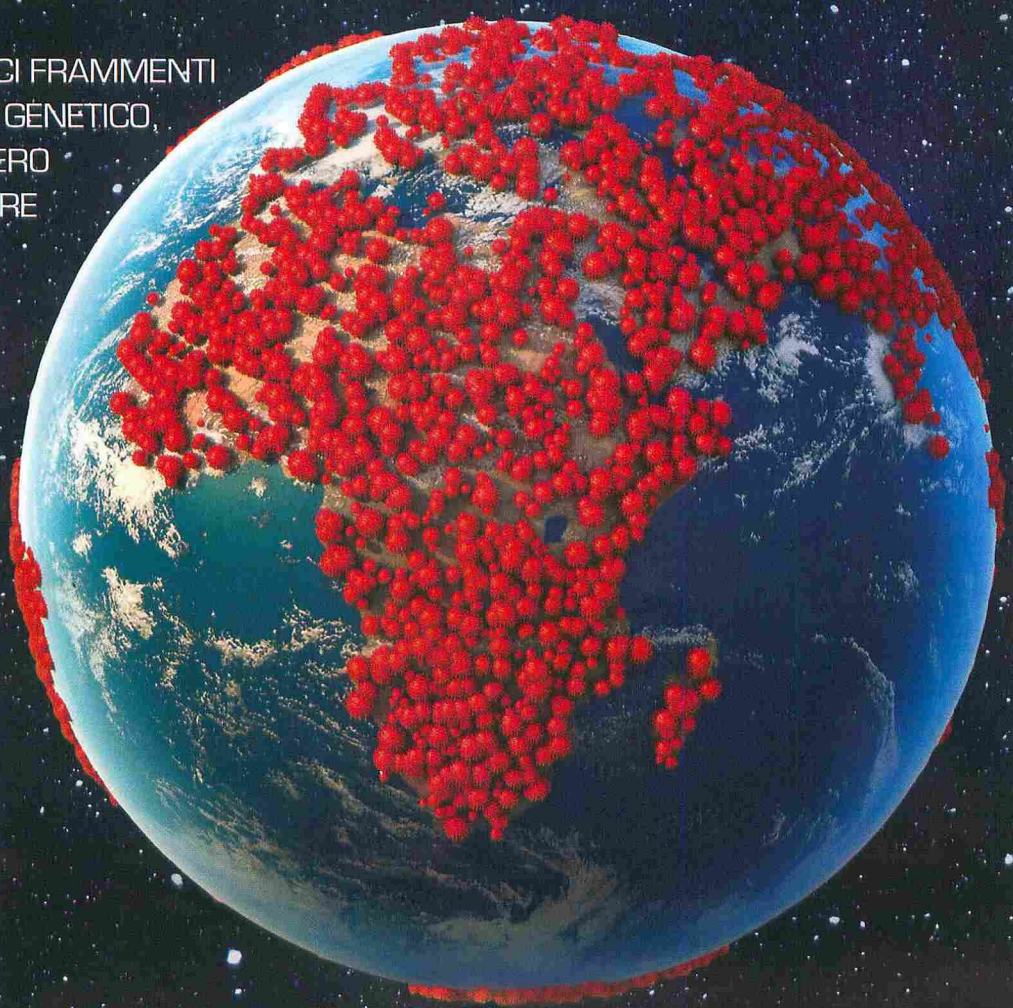
www.lescienze.it by Me@Home

edizione italiana di Scientific American

DOSSIER VIRUS

## Il nemico invisibile

SONO SEMPLICI FRAMMENTI DI MATERIALE GENETICO, MA POTREBBERO DESTABILIZZARE IL PIANETA: BILANCIO E PROSPETTIVE DELLA LOTTA AI VIRUS



### Fisica
La conservazione dell'energia vale per tutto l'universo?

### Robot
Tra Afghanistan e Iraq, l'uso bellico degli automi è già realtà

### Gas serra
Nuove tecnologie per assorbire la $CO_2$ dall'atmosfera

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART.1, C.1, DCB - ROMA - RIVISTA MENSILE - NUMERO 505

000505

9 770036 808000

Punti vendita autorizzati: Auchan Carrefour PANORAMA IPER La grande

FREE UNITED®

# Il calcio più bello è solo su Sky. Tutto in HD.

Solo su Sky vedi in diretta tutte le partite del campionato, con telecamere negli spogliatoi, interviste esclusive ai calciatori durante l'intervallo e fino a 6 match da poter seguire in contemporanea. In più vivi le grandi sfide dei campionati internazionali.

**Scegli Sky entro il 26 settembre: vedi tutta la Serie A in HD e più di 40 canali per tutta la famiglia. Decoder My Sky HD e Sky Digital Key inclusi. Tutto a soli 29€ al mese. Chiama 199.133.733 vai su sky.it o nei punti vendita autorizzati.**

sky

Liberi di...

I 29€/mese si riferiscono alla combinazione 2 channel pack + 1 Sky pack. Decoder My Sky HD e Digital Key in comodato d'uso gratuito per la durata dell'abbonamento. Se ti abboni entro il 26/09/10, il prezzo di listino della combinazione sottoscritta non subirà variazioni per i primi 2 anni. Corrispettivo scontato per attivazione abbonamento: 29€, anziché 59€. In caso di recesso nei primi 12 mesi sarà richiesto l'importo corrispondente agli sconti fruiti e il costo dell'operatore di 11,44€, se applicabile. In alternativa è possibile richiedere i servizi Sky al prezzo di listino, senza vincoli di durata.

expert unieuro EURONICS TRONY DARTY

# NASTRO AZZURRO.
# IL CINEMA HA TUTTO UN ALTRO GUSTO.

Più fresco, intenso e originale. Scoprilo su www.nastroazzurro.it

Sponsor Ufficiale

67 MOSTRA INTERNAZIONALE D'ARTE CINEMATOGRAFICA la Biennale di Venezia 2010

BEVI RESPONSABILE.IT

# sommario



DOSSIER


**42 Virus: il nemico invisibile**
di Chiara Tonelli
Frammenti di materiale genetico in incessante lotta per la sopravvivenza, i virus sono una minaccia per l'uomo, gli animali e le piante

**44 Virus in viaggio per l'Italia**
di Giuseppe Ippolito e Francesco Maria Fusco
I virus non conoscono confini, e in un mondo sempre più globalizzato trasportano malattie che per alcuni paesi, come il nostro, sono nuove o dimenticate

**52 L'imprevedibilità prevista**
di Isabella Monne e Ilaria Capua
Hanno destato clamore, panico e sorpresa, ma influenza aviaria e influenza suina non erano affatto inattese, e ci hanno dato una lezione importante per prevenire simili eventi futuri

**58 Virus e immunità**
di Alberto Mantovani
Imparare dal nemico per sconfiggerlo è la strategia messa in atto dagli immunologi per combattere alcuni virus che manipolano il sistema immunitario, causando gravi malattie

**62 Il nuovo secolo dei vaccini**
di Rino Rappuoli e Lisa Vozza
Il progresso della genomica ha permesso di sviluppare un approccio innovativo in cui si parte dal genoma di un patogeno per produrre vaccini più sicuri ed efficaci

**66 Quando i virus inducono il cancro**
di Lisa Vozza e Luigi Chieco-Bianchi
La scoperta di tumori indotti da virus è stata fondamentale sia per la biologia sia per la prevenzione di queste malattie

ROBOTICA


**80 La guerra delle macchine**
di Peter W. Singer
Sui campi di battaglia e nei cieli sopra di essi, i robot stanno provocando il più grande cambiamento nel modo di fare la guerra dopo la bomba atomica

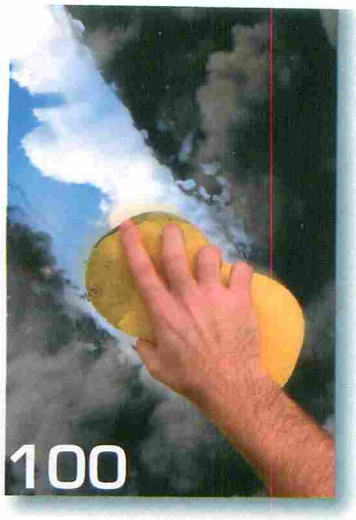

COSMOLOGIA


**72 L'universo sta perdendo energia?**
di Tamara M. Davis
L'energia totale si conserva, come afferma una nota legge fondamentale della fisica, che però non si applica all'universo nella sua totalità

**IN COPERTINA**

Con la globalizzazione, il mondo è sotto l'assedio dei virus? (Roger Harris/SPL/Contrasto).

EVOLUZIONE
88 **Vittoria alata**
di Gareth Dyke
Nuove scoperte fossili indicano che gli uccelli moderni abitavano il pianeta già prima dell'estinzione dei dinosauri




PSICOLOGIA
94 **Cosa pensano i bambini**
di Alison Gopnik
Anche i bambini molto piccoli conoscono, fanno esperienze e imparano. E molto più di quanto pensassero gli esperti

AMBIENTE
100 **Ripulire l'aria dal carbonio**
di Klaus S. Lackner
Macchine che assorbono la $CO_2$ atmosferica possono rallentare o fermare l'aumento dei livelli di questo gas serra, riducendo il riscaldamento globale

## IL LIBRO DI OTTOBRE

### Il racconto di una storia iniziata quattro miliardi di anni fa

*Alle origini della vita*, in edicola con «Le Scienze»

Conoscete qualche sostenitore dell'*intelligent design*? O semplicemente siete curiosi di conoscere come, dal punto di vista chimico-biologico, tutto ha avuto inizio 4 miliardi di anni fa? *Alle origini della vita* di Christian de Duve, premio Nobel per la fisiologia o medicina nel 1974 per le sue scoperte sull'organizzazione strutturale e funzionale delle cellule, fa al caso vostro. Il libro del citologo e biochimico belga che sarà in edicola con «Le Scienze» di ottobre affronta in modo accessibile e rigoroso il tema riassunto nell'interrogativo: come fu che nacque la vita?

Tra le ipotesi considerate da De Duve, professore emerito all'Università Cattolica di Lovanio, c'è anche il disegno intelligente, subito scartato perché non merita di essere menzionato in un contesto scientifico, visto che per invocare un intervento soprannaturale si dovrebbero escludere tutte le spiegazioni naturali, «cosa che non potrebbe mai avvenire». Il resto è scienza allo stato puro.

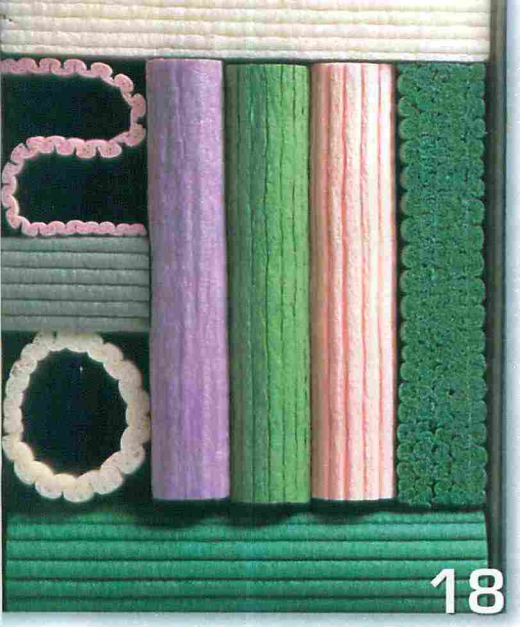
Dai mattoni della vita fino agli organismi pluricellulari, de Duve illustra l'emergere della vita concentrando l'attenzione sulle «singolarità», termine che mutua dalla fisica per indicare i momenti in cui il percorso della vita ha preso una nuova strada. Indagando sulle singolarità, spiega de Duve, si può ricostruire una storia meravigliosa e ancora oggi in buona parte misteriosa.

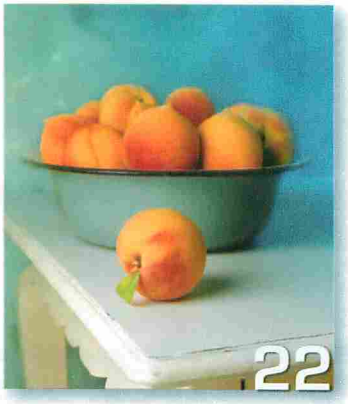
## RISERVATO AGLI ABBONATI

▶ Gli abbonati possono richiedere l'intera collana **La conquista dello spazio**, composta da 6 DVD, al prezzo di € 35,00 (anziché € 41,40) oppure i singoli DVD al prezzo di € 6,90 ciascuno, telefonando al Servizio clienti: 199.700.721 (02.39633433 da telefoni pubblici o cellulari). Con le stesse modalità si può richiedere la collana **Mentimatematiche. I grandi incontri del Festival della Matematica** al prezzo di 59,00 euro (anziché 69,00) oppure i singoli DVD, al prezzo di 6,90 euro ciascuno.

▶ Sono inoltre disponibili, al prezzo di euro 7,90, tutti i volumi della **Biblioteca delle scienze**, che possono essere richiesti sempre al servizio clienti, agli stessi numeri telefonici e indirizzi indicati qui sopra.

# le rubriche sommario



9 **Editoriale**
di Marco Cattaneo

10 **Scienza e società**
di Enrico Bellone
Sopravvivere con Facebook

12 **Lavori in corso**

14 **Geografie**
Il mondo a rischio degli uccelli

16 **Intervista**
Giovanni Spataro
Come cambiare l'università

18 **Made in Italy**
di Letizia Gabaglio
Dall'amido alla plastica biologica

PROSPETTIVE

21 **Sviluppi sostenibili**
di Jeffrey D. Sachs
Profonda crisi per la sostenibilità

22 **Scienza e filosofia**
di Elena Castellani
Emergenza e realtà

23 **Appunti di laboratorio**
di Edoardo Boncinelli
A caccia dei geni dei disegni

24 **Il matematico impertinente**
di Piergiorgio Odifreddi
Un gioco da ragazzi

25 **Astri & Particelle**
di Roberto Battiston
La macchina dei record

106 **Rudi matematici**
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio
Tra Menfi e Alessandria (o quasi)

108 **Libri & tempo libero**

112 **Ricerca improbabile**
di Marc Abrahams
Un vento da spennare i polli

113 **Pentole & provette**
di Dario Bressanini
Pesce di mare e di acqua dolce

## Scienza news


27 Obama e la biologia sintetica
28 Prime meraviglie da Herschel
28 La formazione stellare vista da Hubble
29 Dalla Terra come dallo spazio
29 Il quasar si fa lente
30 Sequenziamento facile
30 Fullereni nello spazio
31 Il senso del pericolo degli afidi
32 Nuove staminali
32 La generazione spontanea dei prioni
33 Contro tutte le influenze
35 Zanzare antimalaria
35 Costruire un polmone artificiale
36 Personalissime feci
36 L'altra faccia della morfina
37 Così i microbi influenzano il clima
40 Brevissime

LIBRI MUSICA FILM GAMES

ibs.it
internet bookshop

# Le scienze? Su IBS le trovi tutte!

Offerta riservata ai lettori de LE SCIENZE
**Valida fino al 15 ottobre 2010**
Utilizzabile per ordini di almeno 49 euro · Cumulabile con altre promozioni in corso
Per usufruire dell'offerta scrivi **SET99Y**
nel campo ***Codice Offerta*** del Carrello e premi il bottone ***Aggiorna il carrello***.

## Extra sconto di 5 EURO

**3 MILIONI DI PRODOTTI:**

- **Libri italiani**
- **Libri** in **lingua inglese**
- **DVD**
- **Blu-ray**
- **Dischi**
- **Videogiochi**
- **MP3**
- **eBooks**

## www.ibs.it

**SCONTI FINO AL 60%**

Pagamento sicuro con **CARTA DI CREDITO, PayPal™** o in **CONTRASSEGNO**

Spedizioni in tutto il mondo con **CORRIERE ESPRESSO**

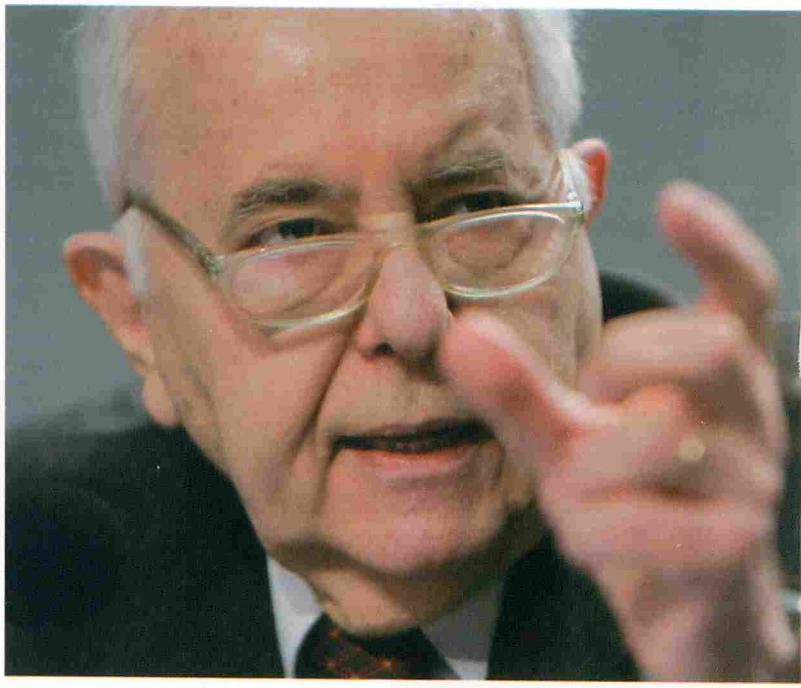
**SPEDIZIONI GRATIS** in Italia con ordini di almeno 39 €

## La più grande libreria italiana è online!

# In memoria di un fisico gentile

di Marco Cattaneo

"Con la scoperta del quark top, e dando per acquisita l'esistenza del bosone di Higgs, la caccia alle particelle sembrerebbe esaurita. In realtà non è così: il Modello Standard non è pienamente soddisfacente. Esso non comprende una corretta descrizione dei fenomeni quantistici associati alla forza di gravità, e non può essere quindi considerato completo». Con queste parole si chiudeva l'articolo che Nicola Cabibbo scrisse nel 1997 per *Quark 2000*, il libro che «Le Scienze» pubblicò con l'Istituto nazionale di fisica nucleare in occasione dell'omonima mostra. Così, senza un rimpianto, con un linguaggio asciutto e misurato, il grande fisico romano riconosceva d'un colpo la grandezza e i limiti di quella straordinaria architettura teorica a cui aveva dato contributi fondamentali.



Asciutto e misurato come era stato due anni fa, quando l'Accademia delle scienze di Stoccolma assegnò il Nobel per la fisica a Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa, che con lui condividono la paternità della matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa, uno degli strumenti più utili e originali della moderna fisica delle particelle. Molti, in Italia, ebbero a sottolineare, anche con veemenza, la plateale ingiustizia di quell'esclusione. Quasi tutti. Tranne lui. Che, umile e schivo, non ha mai espresso un commento pubblico su quell'episodio.

Aveva 28 anni, Cabibbo, quando pubblicava su «Physical Review Letters» – durante un soggiorno al Lawrence Berkeley National Laboratory – l'articolo che, per dirla con la sua modestia, «ha permesso di spiegare qualche mistero della fisica dell'epoca», precedendo di pochi mesi l'idea dell'esistenza dei quark e rivelando come avviene il mescolamento tra diverse particelle dentro una sola. Ed era all'inizio di una luminosa carriera che lo avrebbe portato a occuparsi di cromodinamica quantistica e di supercomputer, a profondere energie nell'insegnamento e nella divulgazione, ma anche ad assumere incarichi di primo piano nel «governo» della ricerca, dalla presidenza dell'INFN a quella dell'ENEA. Solo pochi giorni prima della sua scomparsa, l'8 agosto, l'International Centre for Theoretical Physics di Trieste gli aveva conferito la Medaglia Dirac, l'ultimo di innumerevoli riconoscimenti, tra cui l'affiliazione all'Accademia dei Lincei e alla National Academy of Sciences statunitense.

Dal 1993 era presidente della Pontificia accademia delle scienze, e sotto il pontificato di Giovanni Paolo II ha avuto un ruolo di primo piano, si dice, nella riabilitazione di Galileo Galilei. Ma forse anche nella sostanziale ammissione che la teoria dell'evoluzione non è in contrasto con la dottrina cattolica. Sull'argomento è intervenuto spesso, anche di recente, riconoscendo sempre la fondatezza scientifica dell'evoluzionismo. « Oggi tra gli scienziati cattolici – diceva in un'intervista del 2003 – è chiarissimo che si può benissimo credere nell'evoluzionismo e nella Creazione (non nel creazionismo). Dire il contrario è come sostenere che la Terra è piatta o il Sole si muove perché così diceva la Bibbia».

Ecco, mi piace ricordarlo così, Nicola Cabibbo, con la sua straordinaria statura di scienziato e la sua umanità fuori dal comune. Qualità tutt'altro che facili da sommare in una sola persona.

## Alcuni dei nostri autori

TAMARA M. DAVIS ha ottenuto un dottorato all'Università del Nuovo Galles del Sud nel 2004, e lavora all'Università del Queensland a Brisbane, in Australia. Ha vinto il premio dell'Astronomical Society of Australia per i giovani ricercatori.

PETER W. SINGER dirige la 21st Century Defense Initiative della Brookings Institution, e ha scritto *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*, pubblicato nel 2009.

GARETH DYKE è paleontologo allo University College di Dublino. Per le sue ricerche sull'evoluzione degli uccelli ha descritto e studiato fossili di ogni parte del mondo.

ALISON GOPNICK insegna psicologia ed è professore associato di filosofia all'Università della California a Berkeley. Ha svolto ricerche su come i bambini sviluppano una teoria della mente.

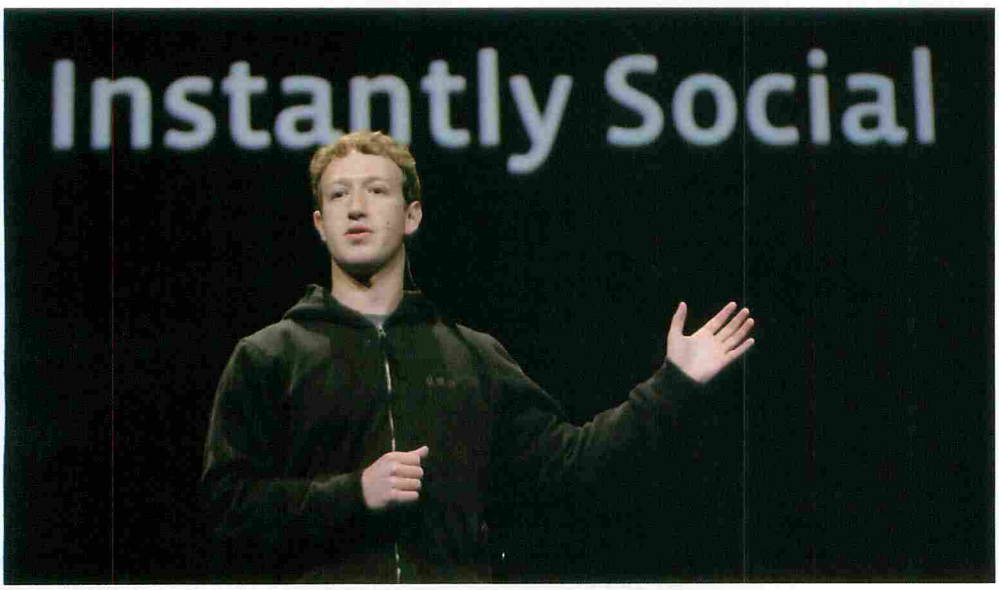
Pier Paolo Cito/AP Photo/LaPresse

# Sopravvivere con Facebook

di Enrico Bellone

Sono trascorsi appena sei anni dalla nascita di Facebook. Un tempo davvero breve. Ma sufficiente a raccogliere, attorno a Facebook, almeno 350 milioni di esseri umani che vivono in 170 nazioni. Leggo questi dati sul numero di agosto di «Mente&Cervello», in un articolo di David DiSalvo dove giustamente si sottolinea come questi milioni di persone siano ormai coinvolti «nel più vasto esperimento di interazione sociale su scala mondiale che mai sia stato condotto».

Un esempio forte, questo, di un'evoluzione tecnologica che sta accelerando su più fronti e che indubbiamente condiziona molti comportamenti tipici della nostra specie. Non a caso DiSalvo passa in rassegna varie opinioni sui rischi e sui vantaggi che possono venire alla luce con la diffusione sempre più vasta delle operazioni di social network. Da un lato sembra accertato che, nel dedicare tempo a queste operazioni, la maggioranza degli esseri umani non mette in pericolo la propria psiche. Ma, dall'altro, non si può escludere l'insorgere di comportamenti negativi in persone già portatrici di narcisismo o di inclinazioni ossessive o di altre forme devianti a livello psichico. Cautela, insomma: anche perché l'evoluzione velocissima di luoghi come Facebook è inserita in una situazione generale che Pierangelo Garzia, nel numero di aprile della medesima rivista, riassume così: «La nostra esistenza è inscindibile dalla tecnologia, che fa ormai parte integrante di noi, e viceversa».




L'ERA DI MARK. Mark Zuckerberg, fondatore di Facebook, durante una conferenza a San Francisco nel maggio di quest'anno. Il fulmineo affermarsi dei social network è un lampante esempio di come l'evoluzione tecnologica possa rivoluzionare la nostra quotidianità in tempi brevissimi e in modi inattesi.

Marcio Jose Sanchez/AP Photo/LaPresse

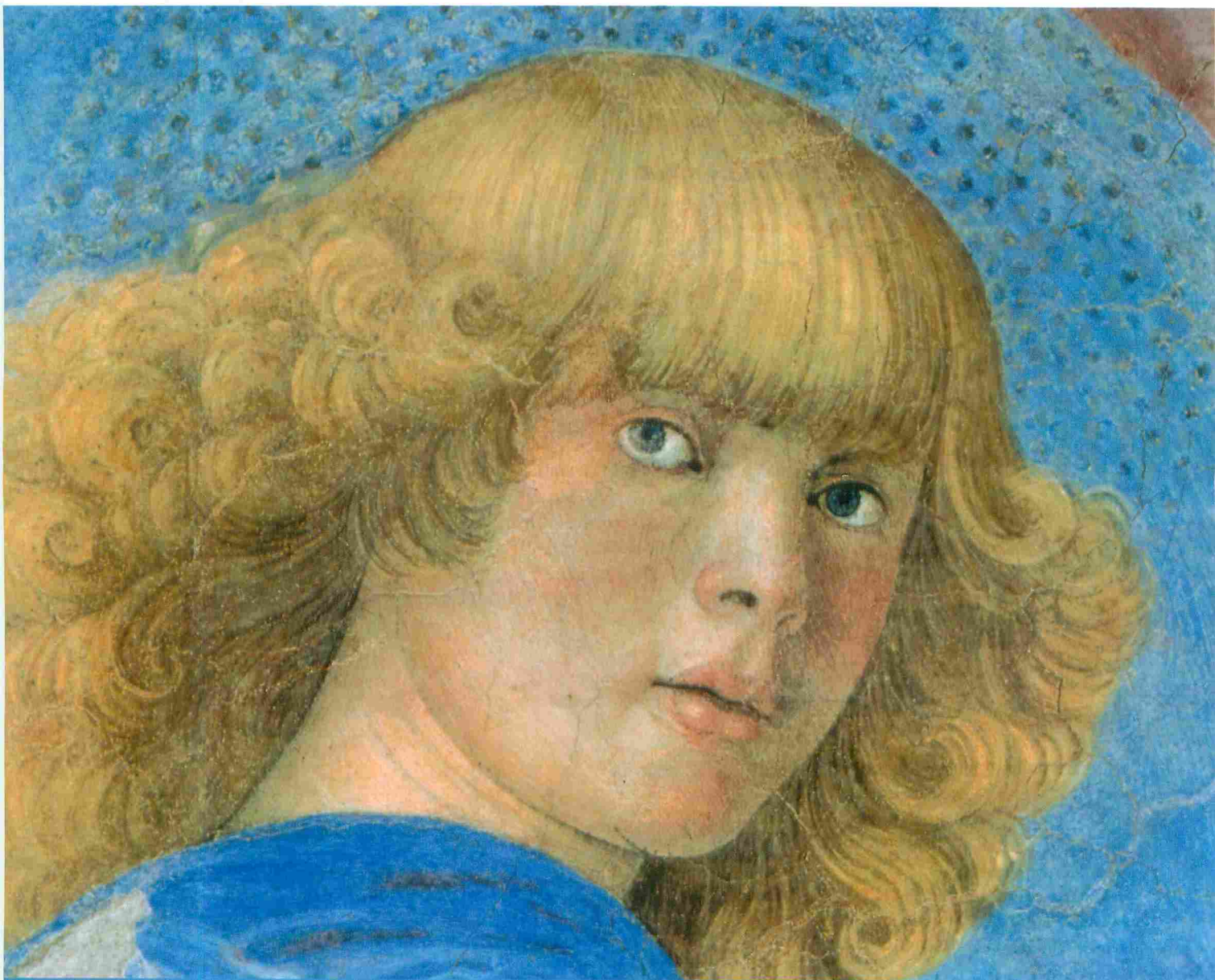
Il rapporto tra gli individui e il mondo delle tecniche è, comunque, un aspetto costante nell'evoluzione culturale di *Homo sapiens*. La nostra specie è apparsa da poco: circa 150.000 anni. Un intervallo troppo limitato per far emergere mutazioni importanti a livello biologico. Eppure la storia ci insegna come in quel breve tempo si siano realizzate mutazioni robuste e decisive nelle tecniche usate dagli uomini. Basti ricordare l'enorme cambiamento causato dalla scoperta dell'agricoltura e dalla pastorizia: un balzo evolutivo che portò alla nascita delle prime città e all'invenzione della scrittura. Si trattò, soprattutto, di un balzo *non intenzionale*: le città e il linguaggio scritto non furono infatti i risultati di libere scelte di qualcuno, ma gli esiti imprevedibili di un mutamento climatico che si verificò più di 10.000 anni or sono e che generò problemi nuovi per la sopravvivenza umana.

Ebbene, quando nel 2004 alla Harvard University nacque Facebook, nessuno poteva prevedere ciò che sarebbe accaduto in pochi anni. Anche questo è un balzo slegato dalle intenzioni di qualche essere umano. È lecito quindi domandarsi quale sia l'impatto che le grandi svolte tecnologiche hanno sulle regole di base che gli individui impiegano nella loro quotidianità. Queste regole sono incise nel cosiddetto *senso comune*, e le radici del senso comune affondano in circuiti neurali governati da categorie innate che l'evoluzione biologica ha collocato nei nostri cervelli. È vero che le nostre reti di neuroni sono plastiche, ma è altrettanto vero che la loro plasticità ha dei limiti. I limiti, dal canto loro, sono tali da restringere di molto l'orizzonte delle nostre scelte possibili.

Il vero problema, allora, è darwiniano. Siamo davvero in grado di adattarci a quelle evoluzioni tecnologiche che sono indipendenti dalle nostre scelte, dalle nostre intenzioni e dalle nostre capacità predittive? Conosco una sola risposta: per adattarci e sopravvivere dobbiamo conoscere le regole del gioco, ovvero le leggi dell'evoluzione.

# MELOZZO DA FORLÌ

## L'umana bellezza tra Piero della Francesca e Raffaello



Forlì, Musei San Domenico 29 gennaio - 12 giugno 2011

nfo 0543 19 12 030
prenotazioni servizi@civita.it
catalogo SilvanaEditoriale

FONDAZIONE CASSA DEI RISPARMI DI FORLÌ

Fondazione
Cassa dei Risparmi
di Forlì
in collaborazione con
Comune di Forlì

## Il segreto della celiachia

Fondamentale passo in avanti per la cura della celiachia. Uno studio pubblicato su «Science Translational Medicine» e diretto da Bob Anderson ha identificato i peptidi che rendono il glutine, la principale proteina del grano, dannoso per i celiaci. Da oltre sessant'anni è noto che è il glutine a scatenare la malattia celiaca, ma fino a oggi non si era riusciti a identificare quali parti della

VIETATO, PER ORA. Nei celiaci, gli alimenti con grano, segale od orzo scatenano reazioni autoimmuni.

proteina fossero responsabili della malattia (si veda *Le sorprese della celiachia*, in «Le Scienze» n. 494, ottobre 2009). Lo studio di Anderson, del Walter and Eliza Hall Institute of Medical Research di Melbourne, è iniziato nove anni fa e ha coinvolto oltre 200 celiaci sia australiani sia britannici, oltre che ricercatori del Regno Unito. Ai pazienti veniva offerto pane, focacce di segale od orzo bollito, e dopo sei giorni dal pasto veniva fatta un'analisi del sangue per misurare la risposta immunitaria di ciascun paziente – la celiachia è una malattia autoimmune – ai 2700 diversi frammenti proteici da cui è composto il glutine. In questo modo si è scoperto che 90 frammenti hanno causato una reazione immunitaria e tre in modo particolare si sono dimostrati particolarmente tossici. Grazie all'identificazione dei tre peptidi sono già partiti trial clinici di fase I per la messa a punto di un'immunoterapia.

## Meno calorie, più memoria

Non solo consumare pasti meno calorici potrebbe allungare la vita, ma potrebbe anche migliorare memoria e capacità cognitive. È quanto emerge da una ricerca su *SIRT1*, uno dei geni più studiati per il suo ruolo negli effetti positivi sulla salute e sulla longevità di mammiferi sottoposti a un regime di restrizione calorica (si veda *Il segreto dei geni della longevità*, in «Le Scienze» n. 453, maggio 2006). Pubblicata su «Nature», la ricerca su *SIRT1*, la cui attività aumenta con il diminuire delle calore assunte, ha dimostrato che nei modelli murini la

MEGLIO MAGRI. La restrizione calorica migliorerebbe memoria e capacità cognitive, almeno nei topi.

proteina per cui codifica il gene – Sirt1 – aumenta enormemente le connessioni tra neuroni, la plasticità sinaptica e la formazione di memorie, quindi riduce la neurodegenerazione e previene le difficoltà dell'apprendimento, come ha spiegato il principale autore dello studio, Li-Huei Tsai, dell'Howard Hughes Medical Institute. Studi recenti avevano già legato *SIRT1* alla fisiologia del cervello e ai disturbi neurologici, ma prima della scoperta di Tsai il ruolo di questo gene nelle funzioni cerebrali più elevate era ignoto.

## Leggerissimo neutrino

L'identikit dell'elusivo neutrino inizia a essere un po' più chiaro. Uno studio diretto da Shaun Thomas, dello University College di Londra, ha stimato il limite superiore per la massa di questa particella: 0,28 elettronvolt, meno di un miliardesimo della massa di un atomo di idrogeno (si veda *L'universo dei neutrini*, in «Le Scienze» n. 448, dicembre 2005). Lo studio, pubblicato su «Physical Review Letters», ha sfruttato una mappa della distribuzione di oltre 700.000 galassie elaborata dalla Sloan Digital Sky Survey. Sebbene interagiscano raramente con la materia, i neutrini sono tanto abbondanti, secondi solo ai fotoni, da influenzare enormemente l'evoluzione delle strutture dell'universo.

## Il nonno di Lucy e Selam

Gli autori della scoperta, pubblicata su «PNAS», l'hanno battezzato Kadanuumuu («grande uomo», nella lingua locale): è uno scheletro parziale di *Australopithecus afarensis*, la stessa specie di Lucy, datato circa 3,6 milioni di anni fa e ritrovato nell'area di Woranso-Mille, in Etiopia. E proprio la datazione, che anticipa di 400.000 anni quella di Lucy, permette a Kadanuumuu di guadagnare il titolo di «nonno». Come Lucy e Selam, altro fossile di *A. afarensis* di 3,3 milioni di anni fa scoperto di recente (si veda *La piccola Lucy*, in «Le Scienze» n. 462, febbraio 2007), Kadanuumuu aiuterà lo studio dell'evoluzione umana.

## Errata corrige

Nel numero di luglio, nell'articolo *La visione cieca*, a p. 87, si legge: «Anche la visione cieca delle emozioni coinvolge il collicolo superiore e altre aree del mesencefalo, come l'amigdala». L'amigdala è coinvolta, ma non si trova nel mesencefalo (si trova nel lobo temporale mediale). Per l'autore la frase si può riscrivere come segue: «Anche la visione cieca delle emozioni coinvolge il collicolo superiore e altre aree del mesencefalo, come la sostanza grigia periacqueduttale». Ce ne scusiamo con i lettori.

Joshua Hodge Photography/iStockphoto (*uomo con post-it*); Jupiterimages (*foto celiachia*); Jen Christiansen (*foto/illustrazione celiachia*); Melissa Thomas (*Lucy*)

*Riduzione consumo di energia rispetto a uno scaldacqua elettrico tradizionale e risparmio stimato sul fabbisogno medio annuo di acqua calda sanitaria di una famiglia di 3 persone e temperatura media annua dell'aria di ingresso pari a 15°C (costo unitario energia elettrica 0,22 Euro/kWh).
**Costo della chiamata da telefono fisso: 0,143 Euro al minuto in fascia oraria intera e 0,056 Euro in fascia oraria ridotta (Iva inclusa).

# Ariston ecoacqua: lo scaldacqua ad alta efficienza energetica.

**NUOS** di **ARISTON**, grazie all'utilizzo innovativo della tecnologia a pompa di calore, ti permette di ridurre il consumo di energia del **70%** risparmiando fino a **270 euro*** **all'anno sulla bolletta con prestazioni senza paragoni**. E con gli **incentivi statali** risparmi subito fino a **400 euro** **su acquisto e installazione.** Chiedi di più per un mondo migliore. Chiedi **NUOS** al tuo installatore di fiducia **ARISTON**.

Servizio Clienti Ariston 199.111.222** (seleziona tasto 3)

High Efficiency Ideas and Products

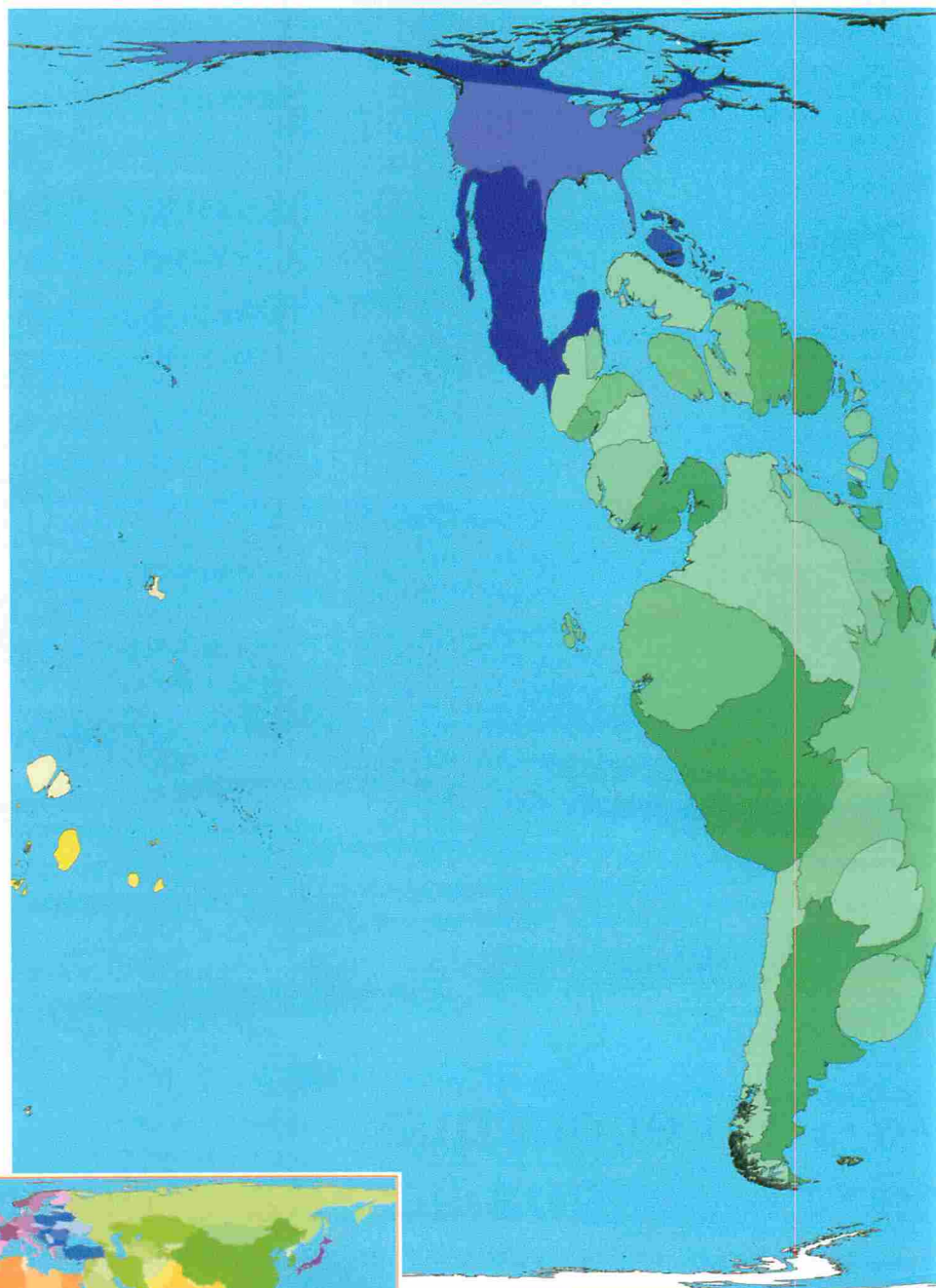
www.nuosariston.it

ARISTON

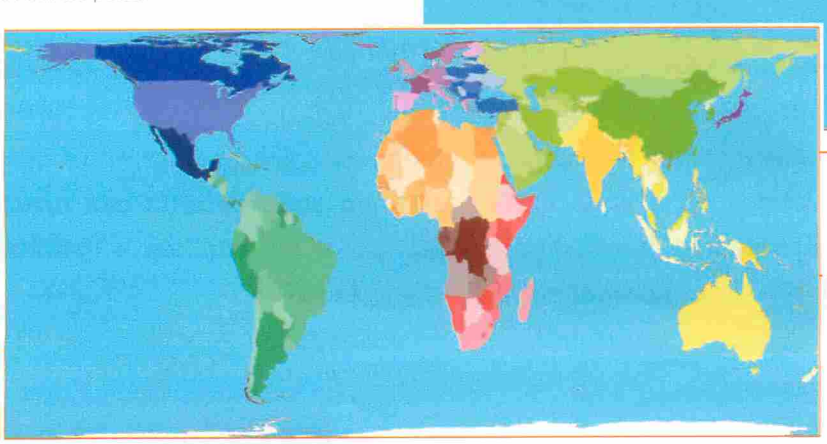
# Il mondo a rischio degli uccelli

Sopravvissuti all'estinzione di massa che circa 65 milioni di anni fa ha spazzato via i dinosauri e numerose altre forme di vita (*si veda l'articolo a p. 88*) in seguito all'impatto di un asteroide con la Terra, oggi gli uccelli sono a rischio. Il pericolo però non arriva più dallo spazio, ma dalle attività di una delle specie che abita il pianeta, *Homo sapiens*, come mostrano gli studi dell'International Union for Conservation of Nature (IUCN).

Nel 2010 sono state catalogate a rischio di estinzione in tutto il mondo 1240 specie di uccelli, cioè il 12,5 per cento delle 9895 specie di uccelli riconosciute. Nel 2004 erano 1213. In generale, rispetto al 1988, anno in cui è stato pubblicato il primo rapporto completo dell'IUCN, l'andamento è peggiorato in ogni parte del pianeta. Oggi il 92 per cento dei paesi ospita una o più specie di uccelli a rischio. In cima alla classifica dei paesi calcolata sul numero assoluto di specie in pericolo ci sono Brasile (127) e Indonesia (122). Tra le aree più critiche ci sono Borneo e Sumatra, due isole del Sudest asiatico dove la deforestazione sempre più selvaggia ha messo in pericolo la sopravvivenza della biodiversità locale. In generale gli habitat più sensibili sono proprio le foreste, che ospitano l'87 per cento delle specie di uccelli a rischio; il fattore principale di pericolo è l'espansione delle terre coltivate.



Le dimensioni dei paesi sono proporzionali al numero di specie di uccelli a rischio di estinzione locale. Nella mappa qui sotto, le dimensioni reali dei paesi.



SUPERFICIE

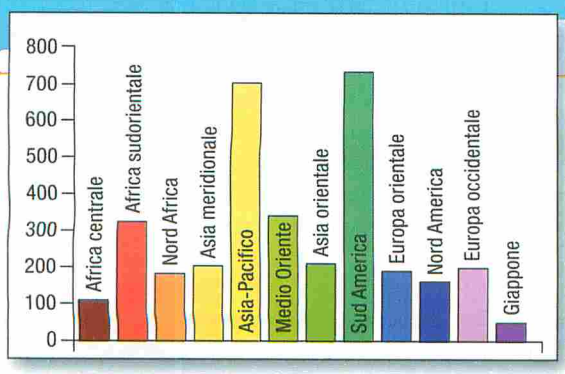
Note tecniche:

- Fonte dei dati: Red List of Threatened Species 2006, dell'International Union for Conservation of Nature.
- *Uccelli a rischio di estinzione ogni 1000 specie locali di animali e piante catalogate.

www.worldmapper.org
©Copyright 2006 SASI Group (Università di Sheffield)
e Mark Newman (Università del Michigan)

## In pericolo in valori assoluti

Numero di specie di uccelli a rischio di estinzione locale, 2004




## I paesi più e meno rischiosi

Numero di specie di uccelli a rischio ogni 1000 specie locali*

| | Paese | |
|---|---|---|
| 1 | Niue | 182 |
| 2 | Isole Cook | 172 |
| 3 | Nuova Zelanda | 138 |
| 4 | Aut. Naz. Palestinese | 125 |
| 5 | Timor Est | 119 |
| 6 | Samoa | 77 |
| 7 | Nauru | 67 |
| 8 | Kiribatu | 65 |
| 9 | Corea del Sud | 60 |
| 10 | Comore | 54 |

| | Paese | |
|---|---|---|
| 184 | Liechtenstein | 3,3 |
| 185 | Burkina Faso | 3,2 |
| 186 | Niger | 3,1 |
| 187 | Trinidad & Tobago | 3,0 |
| 188 | Rep. Centrafricana | 3,0 |
| 189 | Gambia | 2,8 |
| 190 | Benin | 2,8 |
| 191 | Togo | 2,5 |
| 192 | Guyana | 2,5 |
| 193 | Guinea Bissau | 1,6 |

# Come cambiare l'università

La realtà della Scuola Sant'Anna di Pisa è un esempio da seguire per evitare il collasso del mondo universitario, come spiega il direttore della scuola

di Giovanni Spataro

## CHI È

■ Maria Chiara Carrozza si è laureata in fisica nel 1990 all'Università di Pisa. Nel 1994 ha ottenuto il PhD in ingegneria alla Scuola Superiore Sant'Anna.

■ Dal novembre 2006 è professore straordinario in bioingegneria industriale alla Scuola Superiore Sant'Anna. Dal novembre 2004 all'ottobre 2007 ha diretto la Divisione ricerche con delega del direttore della stessa scuola.

■ All'inizio l'attività scientifica di Maria Chiara Carrozza ha riguardato il settore della microingegneria biomedica, in particolare la progettazione di strumentazione biomedica. Poi si è orientata verso le aree scientifiche della biorobotica, della biomeccatronica e della neuro-robotica.

■ Ha coordinato oltre 20 progetti di ricerca nazionali e internazionali. Ha all'attivo oltre 50 articoli su riviste internazionali *peer reviewed* e 100 atti di conferenze scientifiche internazionali. Dal 1° novembre 2007 è direttore della Scuola Superiore Sant'Anna.

L'università italiana deve cambiare e aprirsi al mondo, perché il nostro sistema accademico non è più sostenibile ed è destinato al collasso. Questa, in estrema sintesi, l'analisi di Maria Chiara Carrozza, direttore della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, istituita nel 1987, probabilmente una delle poche realtà italiane in grado tenere il passo con le sfide della globalizzazione dei cervelli.

La scuola offre corsi di formazione di eccellenza per studenti universitari, laureati e professionisti, e l'ammissione è regolata da concorsi pubblici. Oltre alla formazione, il Sant'Anna ha sviluppato un importante settore di ricerca, che è autofinanziato per il 92 per cento e fino a oggi ha prodotto una cinquantina di brevetti, più un'altra ottantina per conto di aziende, e 27 *spin-off*. Inoltre la scuola ha stipulato accordi di collaborazione con università e centri di ricerca di 26 paesi. Dunque è un punto di osservazione interessante della realtà accademica italiana.

Franco Silvi (Maria Chiara Carrozza e studenti)

### Come fate ad autofinanziare il 92 per cento della ricerca?

Questa prestazione è frutto di una strategia. Una decina di anni fa abbiamo investito sia per i docenti sia per la ricerca soprattutto in settori di frontiera e avanzati, per esempio robotica e telecomunicazioni. E così oggi, fatto 100 il fondo di finanziamento ordinario ricevuto dallo Stato, riusciamo a prendere 80 di fondi sia pubblici sia privati finalizzati alla ricerca e all'alta formazione. Una delle più brillanti prestazioni del genere in Italia, se non la migliore.

Oltre il 90 per cento di questi fondi per ricerca e alta formazione arriva da agenzie internazionali, solo l'8 per cento è erogato dal Ministero. In questo modo ogni ricercatore della scuola dispone del più alto finanziamento pro capite in Italia.

### E il segreto dei numerosi brevetti?

È frutto sia di una politica di cofinanziamento ai brevetti dei ricercatori del Sant'Anna sia di una politica che facilita la cessione di licenze agli spin-off della scuola.

I nostri ricercatori che sono soci degli spin-off possono chiedere contratti di sfruttamento a condizioni privilegiate. I brevetti sono della scuola, ma le licenze di sfruttamento permettono di guadagnare in modo diretto. In altre parole abbiamo deciso non solo di depositare brevetti, ma anche che i principali partner nello sfruttamento dei brevetti fossero gli spin-off dei nostri ricercatori.

### Alla luce della vostra esperienza, ha senso la formazione di eccellenza in Italia?

Sì, e abbiamo investito proprio per coniugare la formazione degli studenti con la ricerca. La chiave è esporre i nostri allievi fin dall'inizio del percorso formativo alla possibilità di partecipare a progetti di ricerca internazionali, esperienze all'estero, rapporti con imprese e altre istituzioni.

Inoltre, per noi la formazione di eccellenza ha senso perché come Sant'Anna abbiamo contribuito a formare l'élite culturale dell'Italia. Un paese non può fare a meno di un'élite del genere, e noi ci assumiamo questa responsabilità, certo non siamo gli unici. E non è un concetto retorico, è una funzione di servitori dello Stato.

### Non è retorico, ma siamo in un paese in cui la meritocrazia lascia a desiderare...

È vero, in Italia la meritocrazia lascia a desidera-

CERVELLI SELEZIONATI.
Studenti e ricercatori al lavoro in un laboratorio della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, a cui si accede dopo una selezione rigorosa.

re, però dobbiamo formare persone che confidano nelle loro capacità e che, se sono brave, alla fine emergeranno. Come succede per i nostri allievi, che non restano disoccupati, visto che abbiamo tassi di occupazione del 100 per cento. Sono loro che devono cambiare l'ambiente in cui si trovano.

Questi discorsi sulla meritocrazia ce li siamo fatti, ora dobbiamo cambiare questo paese. Noi cerchiamo di dare agli allievi anche un'etica professionale proprio per esportare questi concetti. Al nostro concorso di ammissione non conosciamo nome, cognome e voto di maturità dei candidati. Non guardiamo nulla della storia passata di un candidato, solo le prove.

**Se fosse ministro quali provvedimenti riterrebbe necessari?**

Di sicuro una riforma per il reclutamento di docenti e ricercatori che si basi sul concetto di responsabilità. Un ente deve prendersi la responsabilità della qualità e della capacità delle persone che assume. Ovviamente chi chiama deve rendere trasparente il percorso e la scelta di chi ha chiamato. Basta con queste regole assurde che prevedono il sorteggio dei commissari. Introdurre troppi livelli significa deresponsabilizzare chi sceglie.

Inoltre farei chiamate internazionali basate sul principio della trasparenza, abolirei tantissime regole inutili che ci appesantiscono e aumentano invece di diminuire. Poi c'è un altro argomento che ritengo fondamentale: investire nei giovani ricercatori. Ormai non solo abbiamo un invecchiamento della classe docente, ma abbiamo un invecchiamento generale del sistema. Non c'è ricambio generazionale nei posti di governo e di responsabilità.

RISULTATI D'ECCELLENZA.
La mano robotica progettata e realizzata all'Advanced Robotics Technology and Systems Laboratory della Scuola Sant'Anna dal gruppo coordinato da Maria Chiara Carrozza.

Marco Bulgarelli/Corbis

**È anche vero che lo stesso mondo accademico chiede cambiamento, ma poi fa resistenza.**

È vero, c'è una certa resistenza, ma ormai non può tenere più. Il sistema si sta sgretolando, non possiamo più resistere con queste regole assurde, che non possiamo nemmeno tradurre in altre lingue e che uno straniero non può capire.

Vinceremo la battaglia del rinnovamento quando l'Italia sarà un paese veramente aperto ed europeo, e ci sarà circolazione di persone non solo in uscita, ma anche in entrata. Tra l'altro valuterei la qualità della didattica e analizzerei bene l'offerta formativa universitaria; è evidente che c'è qualcosa che non va.

**Avete molti rapporti internazionali, riuscite a tenere il passo della formazione d'eccellenza?**

È difficile, e il problema principale sono le regole che in Italia hanno ormai sommerso il mondo universitario. Mi spiego: per ottenere un progetto internazionale, in pochi mesi dobbiamo fare le selezioni e mettere a lavorare le persone. In Italia questo percorso comporta per esempio il passaggio dalla Corte di Conti per un suo controllo preventivo. Per fare un contratto anche semplice abbiamo bisogno di sei mesi di preavviso. Sono regole assurde, pensate per università sull'orlo del fallimento. Per andare incontro a pochi atenei in difficoltà finanziarie impediamo agli altri, anche a quelli che funzionano bene, di compiere la propria missione istituzionale.

**Come vede i paesi emergenti che stanno investendo molto sul capitale umano, per esempio la Cina?**

Sono appena tornata dalla Cina, dove abbiamo fatto accordi importanti con le università e dove si incontrano molti colleghi, anche italiani che in questo momento di difficoltà vanno all'estero. La Cina sta diventando un porto di mare dove le migliori intelligenze di tanti paesi in crisi emigrano ed esportano le proprie capacità. Questo darà un ulteriore slancio ai loro atenei, che si ritroveranno docenti di livello elevato scelti senza concorsi, ma con selezioni internazionali.

I cinesi si pongono con umiltà, un atteggiamento vincente per studiare i vari modelli e prendere il meglio dalle esperienze internazionali. Sarà molto difficile tenere il loro passo.

# Dall'amido alla plastica biologica

Integrare chimica e agricoltura in modo sostenibile è l'obiettivo di Novamont, leader mondiale nella produzione di bioplastiche grazie a brevetti propri

di Letizia Gabaglio

Pneumatici, sacchetti per la spazzatura, film per imballaggi, posate e piatti monouso, pannolini. Tutto a basso impatto ambientale grazie alla ricerca e all'innovazione italiana. E alla determinazione di un gruppo di ricercatori che hanno salvato una delle eccellenze di casa nostra dal disastro che alla fine degli anni ottanta ha cancellato in un colpo solo l'industria chimica italiana, una delle migliori al mondo.

È la storia del centro di ricerche FERTEC (Ferruzzi Ricerca e Tecnologia), nato dalla Montedison nel 1989 per integrare chimica e agricoltura in una logica di sostenibilità ambientale, diventato poi Novamont, azienda leader mondiale nella produzione di bioplastiche. E della donna che oggi ne è amministratore delegato, Catia Bastioli, assunta come responsabile di progetti strategici sui materiali compositi e biodegradabili dalla FERTEC, traghettatrice nel momento della svolta, e ora top manager decisa a realizzare uno «sviluppo veramente sostenibile».

L'asso nella manica di Novamont è stato inizialmente la complessazione di amido per effetto di polimeri insolubili di tipo idrofilo-idrofobo. La possibilità, in altre parole, di trasformare l'amido, una risorsa di energia per le piante, in una gamma di materiali insolubili, con proprietà meccaniche e una processabilità molto simili a quelle delle plastiche tradizionali. Nel 2007 la scoperta, protetta da una serie di brevetti depositati fra 1992 e 2001, è valsa al gruppo di ricerca guidato da Bastioli il riconoscimento di «Inventore Europeo dell'anno».

La prima famiglia di bioplastiche industriali ottenute con questa tecnologia è stata commercializzata a livello internazionale con il marchio Mater-Bi. «Partendo dal Mater-Bi è stato possibile lavorare a diverse soluzioni economicamente e ambientalmente sostenibili in specifici settori applicativi con un'ottica di ridisegno», spiega Bastioli.

## Dai campi all'asfalto

Facciamo qualche esempio. Grazie a questa plastica si possono ottenere film per la pacciamatura agricola completamente compostabili in suolo. Vale a dire che, una volta svolto il suo compito (cioè fra l'altro impedire la crescita di erbe infestanti, mantenere l'umidità, proteggere il terreno dall'erosione), il telo viene progressivamente riassorbito dai microrganismi presenti nel suolo, eliminando così i costi economici e ambientali connessi alla raccolta e allo smaltimento delle coperture tradizionali. Con Mater-Bi si confezionano anche sacchetti per la raccolta differenziata dell'organico con una capacità traspirante aumentata che permette una riduzione significativa del contenuto di acqua dei rifiuti (20-50 per cento in più) e di odori, rendendo la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti più conveniente dal punto di vista ambientale ed economico.

Con le nanoparticelle di uno speciale *biofiller* in Mater-Bi, poi, si riesce a far rotolare meglio gli pneumatici sull'asfalto, risparmiando circa il 5 per cento del carburante e riducendo i gas serra in misura consistente. «Risultati che hanno convinto l'Unione Europea a finanziare un nuovo progetto, che coinvolge Novamont, Goodyear e BMW, per aumentare le prestazioni di questo tipo di pneumatici», sottolinea Bastioli. E ancora: con la bioplastica a base di amido si possono realizzare prodotti per l'igiene, come i pannolini, per l'imballaggio alimentare e industriale, come vaschette per la conservazione e l'asporto dei cibi, per la ristorazione, come posate e piatti monouso.

Così, grazie alla prima generazione di materiali, a cui è seguita una seconda e una terza generazione, messe a punto con tecnologie sempre più avanzate, il piccolo centro di ricerca è diventato

Cortesia Novamont (*foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)

### LA SCHEDA

Novamont

**Fatturato 2009**
63,6 milioni di euro

**Investimenti in ricerca**
7 per cento del fatturato

**Dipendenti**
173, di cui il 30 per cento impiegato in ricerca e sviluppo

**Brevetti**
80 famiglie brevettuali e 800 depositi internazionali

CHIMICA SOSTENIBILE. Qui accanto, un esempio di applicazione del film biodegradabile per la pacciamatura del suolo. In alto, imballaggio espanso. Sopra, Catia Bastioli, amministratore delegato di Novamont. Nella pagina a fronte, un ricercatore nei laboratori dell'azienda.

un'azienda in grado di produrre su larga scala. Si tratta di uno dei pochi esempi italiani di azienda che basa la sua fortuna esclusivamente su tecnologie proprietarie e innovazione.

## Rivoluzione bioplastica

Ma l'aspirazione di Bastioli va oltre i prodotti. Da una parte, infatti, Novamont aspira a creare filiere di mercato grazie ad accordi con altre realtà industriali, dall'altra vuole creare bioraffinerie integrate nel territorio. Sicuramente il progetto più ambizioso, «ma che è la diretta conseguenza del nostro modo di intendere l'innovazione e può rappresentare anche un esempio di nuovo modello di impresa», spiega ancora Bastioli. «Considerando il tipo e la qualità del territorio italiano, se si vogliono utilizzare le materie prime rinnovabili locali, occorre ripensare l'agricoltura con un approccio conservativo. Puntare cioè su colture specializzate per le tecnologie specifiche che stiamo sviluppando».

Nel caso della bioraffineria Novamont, significa lavorare su diverse colture oleaginose, specializzandole, decidendo per esempio come e dove coltivare, che tipo di sistema agronomico usare, quali rotazioni, la quantità di acqua e di azoto. In più i ricercatori Novamont stanno cercando di sfruttare gli scarti agricoli per la produzione di intermedi chimici e per il proprio fabbisogno di energia, e di coinvolgere gli agricoltori direttamente nella filiera industriale, facendoli diventare essi stessi parte integrante dell'innovazione. «Per ora la sperimentazione riguarda i diversi genotipi di colture oleaginose, intorno agli impianti Novamont», conclude Bastioli. «Alleanze di questo tipo ci permettono di operare a livello culturale sul territorio, e quindi di far diventare quest'ultimo un'area di sperimentazione allargata, un vero e proprio laboratorio aperto». Il primo esempio di questo nuovo modo di intendere l'industria chimica è la bioraffineria di Terni, dove Novamont ha attivato otto linee di produzione; ma l'azienda sta valutando di aprire un nuovo stabilimento in provincia di Caserta.

Un'innovazione, quella delle bioraffinerie, che potrebbe davvero essere rivoluzionaria: 70.000 ettari di terreno a mais e 600.000 a colture oleaginose non alimentari basterebbero a coprire il fabbisogno italiano di plastiche flessibili per il *packaging*, circa 1,5-2 milioni di tonnellate. Non molto se si pensa che in Italia il terreno coltivabile è pari a 15 milioni di ettari: la produzione di bioplastiche non andrebbe quindi a intaccare la filiera alimentare, anzi la rafforzerebbe. E i numeri potrebbero ridursi sostanzialmente se, come Novamont intende fare, si useranno anche gli scarti della filiera agricola come fonte di nuovi intermedi chimici.

# L'espresso sbarca su **iPad.**

SCARICA GRATIS
"L'ESPRESSO"
DA iTUNES STORE

## Un grande passo per il giornalismo, un grande passo per te.

Le grandi inchieste dell'espresso arrivano su iPad. Vivi un'esperienza innovativa e coinvolgente che ti permette di entrare nella notizia con la qualità degli articoli dell'espresso arricchiti da gallerie fotografiche, contributi video e audio. L'espresso su iPad. Tocca con mano la nuova forma dell'informazione.

Starting with PEUGEOT MOTION & EMOTION
directa trading online dal 1996

L'espresso

# Profonda crisi per la sostenibilità

**di Jeffrey D. Sachs**

Direttore dell'Earth Institute della Columbia University, Consigliere speciale del Segretario generale delle Nazioni Unite

Da quando ho iniziato a scrivere per questa rubrica, cioè quattro anni fa, l'incapacità del mondo di affrontare la realtà della crescente crisi ambientale è diventata ancora più tangibile. Addirittura, a partire dal 2010 sono stati rinviati, ignorati o annullati i principali obiettivi stabiliti dagli organismi internazionali per le politiche globali che riguardano l'ambiente. Ed è triste notare che probabilmente il 2010 sarà l'anno più caldo dal 1860, quando sono iniziate le misurazioni sistematiche della temperatura del pianeta, un'altra testimonianza del fatto che le catastrofi ambientali indotte dall'uomo stanno andando fuori controllo.

L'anno in corso doveva essere quello della biodiversità. Nel 2002, sotto gli auspici della Convenzione sulla biodiversità delle Nazioni Unite, i paesi avevano promesso di rallentare in modo significativo la perdita globale di biodiversità entro il 2010. Questo obiettivo non è stato minimamente raggiunto. Anzi, in molti casi è stato appena notato, per esempio dai cittadini statunitensi. Nel 1992 gli Stati Uniti hanno firmato la Convenzione sulla biodiversità, ma non l'hanno mai ratificata. La ratifica è stata vittima della delusione, tutta statunitense, causata dal fatto che la natura dovrebbe essere suddivisa in tante piccole proprietà private, di cui ciascun proprietario dovrebbe disporre come crede.

Questo era anche l'anno del trattato successivo a quello di Kyoto, ma gli sforzi sono stati stroncati sul nascere dalla continua paralisi della politica statunitense. Il presidente Barack Obama è arrivato a mani vuote ai negoziati sul clima a Copenhagen. E Stati Uniti, Cina e altre potenze hanno fatto approvare una dichiarazione con obiettivi e sentimenti invece di una dichiarazione con strategie operative e un processo di adozione.

Secondo la campagna elettorale di Obama, due anni fa dunque, il 2010 doveva essere il primo anno di una nuova politica energetica e climatica, e il secondo di una «ripresa verde»: altre promesse mancate. La ripresa ha avuto alti e bassi: Obama ha scommesso su «stimoli» a consumatori stremati invece che su un programma a lungo termine di investimenti pubblici in infrastrutture sostenibili. Il Senato degli Stati Uniti non ha accennato ad alcuna azione riguardo il riscaldamento globale per il diciottesimo anno consecutivo, cioè dalla ratifica nel 1992 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC).

Il 2010 è stato inaugurato dal cosiddetto «Climategate», che ha visto il furto di numerose e-mail di un gruppo di ricerca britannico specializzato in scienza del clima. La destra statunitense ha dipinto alcune espressioni volgari dei messaggi come la prova di un vasto complotto. Analisi indipendenti hanno respinto le accuse di una cospirazione ordita dagli scienziati, ma il danno ormai è fatto: l'opinione pubblica, per esempio, è diventata più diffidente a proposito della scienza che spiega perché il cambiamento climatico è indotto dall'uomo.

Stiamo perdendo tempo, e stiamo lasciando erodere i margini di sicurezza planetari, visto che il mondo sta avvicinando o superando varie soglie di rischio ambientale. Con la popolazione umana che continua a crescere di oltre 75 milioni di persone all'anno e con la forte crescita economica registrata nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo aumenterà l'impatto di deforestazione, inquinamento, emissioni di gas serra, estinzioni delle specie, acidificazione degli oceani e altri pericoli.

Quali sono le caratteristiche profonde dei processi socio-economici nazionali e globali che causano questi ripetuti fallimenti? Innanzitutto, i rischi della sostenibilità sono realmente senza precedenti nella loro scala globale, e hanno investito la società in modo improvviso nelle due generazioni passate. Inoltre i problemi sono complessi dal punto di vista scientifico e presentano enormi incertezze. L'opinione pubblica deve guardare in faccia la realtà, ma la scienza deve sforzarsi di misurare, valutare e indirizzare le nuove sfide.

E ancora: sebbene i problemi siano globali, le politiche sono locali, e questo compromette una azione internazionale coordinata e tempestiva. I problemi, poi, hanno una portata temporale di decine di anni, mentre l'attenzione dei politici arriva fino alla prossima elezione e quella dell'opinione pubblica fino alla prossima busta paga. Infine, le grandi aziende hanno sfruttato l'arte della propaganda per tutelare i loro interessi, e hanno a disposizione tantissimo denaro per comprare un mare di informazioni inesatte con cui ingannare l'opinione pubblica. Dobbiamo portare la buona scienza nella sfera pubblica e potenziare una cittadinanza democratica che deve gestire in modo responsabile il pianeta, prima che sia troppo tardi.

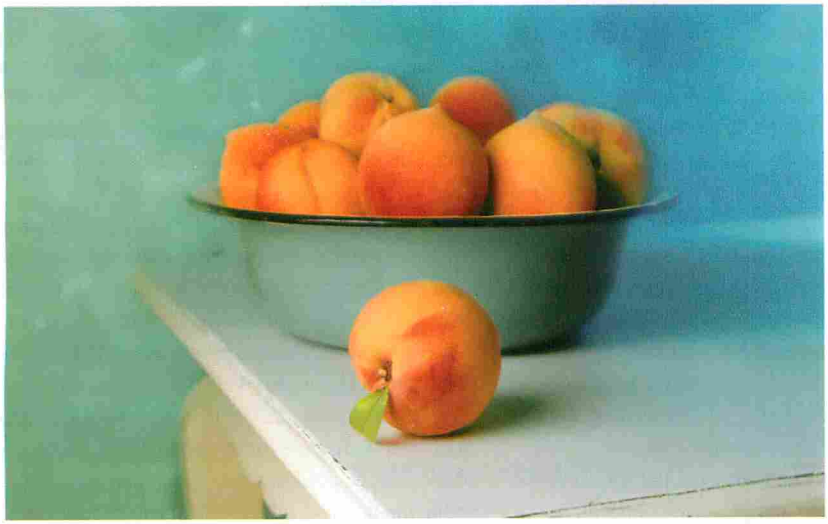
Bruce Gilbert/Earth Institute (*Sachs*); Matt Collins (*illustrazione*)

# Emergenza e realtà

**di Elena Castellani**
Professore associato, Dipartimento di filosofia, Università di Firenze

La nozione di emergenza, ben nota ai filosofi e sempre più usata dagli scienziati, è spesso coniugata con quella di non esistenza. «Emergo, dunque non sono», sembra essere il motto. Due esempi recenti: a proposito della teoria proposta dal fisico olandese Erik Verlinde, per cui la gravità sarebbe una forza emergente, si legge che, di conseguenza, la gravità non esiste, è solo un'illusione; nell'approccio a una teoria unificata della gravità (relatività generale) e della meccanica quantistica che si rifà alla cosiddetta gravità quantistica canonica sviluppata da John Wheeler e Bryce DeWitt negli anni sessanta, il tempo è visto come una grandezza emergente, e la conclusione tratta è che, in questa prospettiva, il tempo non esista (si veda *Il tempo è un'illusione?* di Craig Callender, in «Le Scienze» n. 504, agosto 2010).

Lo stesso modo di vedere si può applicare a qualsiasi grandezza fisica od oggetto fisico che si ipotizzi emergente da qualcosa di più fondamentale. Per esempio, il tavolo che ho davanti non esisterebbe, è una pura illusione: so, infatti, che il tavolo è in realtà composto da particelle microscopiche e spazio vuoto, mentre quello che vedo a occhio nudo sono solo proprietà emergenti, non fondamentali, e quindi non esistenti. In pratica, in quest'ottica, tutto ciò che ci circonda nella vita quotidiana non esisterebbe: gli oggetti che vediamo e tocchiamo, le loro forme e qualità, i colori, gli odori... Esisterebbe solo ciò che è davvero fondamentale, il livello delle cose che non sono emergenti.



ILLUSIONE CONCRETA. Secondo la nozione di «emergenza» sempre più usata dagli scienziati, odori, colori, forme e altre proprietà simili degli oggetti sono illusioni che emergerebbero da uno strato più fondamentale della materia.

Sostenere che la gravità o il tempo non esistono perché emergono è, dunque, come sostenere che tutto quello che emerge da uno strato più fondamentale non esista. Ma, come insegna la storia della scienza, è molto problematico decidere che cosa sia davvero fondamentale. E se anche potessimo essere sicuri, un giorno, di aver trovato la «teoria finale», quella che dovrebbe descrivere lo strato ultimo della realtà fisica, saremmo disposti ad attribuire la patente di esistenza a un numero esiguo di componenti microscopiche che vivono in dimensioni e a energie lontanissime da quelle a noi familiari?

Di fatto, la questione è mal posta. Emergenza ed esistenza sono due categorie di natura diversa. Quella di emergenza è una nozione che, per quanto suscettibile di definizioni diverse a seconda dei contesti, fa parte del bagaglio scientifico. Nella descrizione fisica, per esempio, emergente rispetto a un dato livello (definito in riferimento a una scala fisica) è ciò che è nuovo, non deducibile e non prevedibile a partire dal livello più fine. L'acqua è liquida a un certo livello di descrizione, ma non lo è a un livello più fine di descrizione, in cui si considerino le molecole che la compongono. In altre parole, la proprietà di essere un liquido è emergente rispetto al livello molecolare di descrizione.

Sulla base del fatto incontestabile che ci siano proprietà emergenti rispetto a livelli più fini di descrizione del mondo fisico, si può poi discutere su questioni di natura filosofica come la validità o meno di un atteggiamento riduzionistico nella scienza. Tipicamente, il fatto dell'emergenza (intesa come irriducibilità) è stato usato per sostenere una posizione antiriduzionista nella scienza: per cui le scienze relative a livelli più complessi di organizzazione della materia non sarebbero riducibili alle scienze relative a livelli meno complessi (come la biologia rispetto alla chimica, o la chimica rispetto alla fisica). Ma si tratta, appunto, di questioni filosofiche, non di questioni scientifiche.

A differenza di quella di emergenza, la nozione di esistenza è invece di natura metafisica, ed esula dal contesto scientifico strettamente inteso. Che cosa davvero esista, è infatti una questione che riguarda l'interpretazione delle teorie scientifiche: come si crede che il mondo sia per poter attribuire un valore di verità a quello che le teorie dicono su di esso. Il rapporto tra metafisica e descrizione fisica è complesso e molto discusso dai filosofi della scienza. Ma la metafisica, sebbene possa essere vincolata dalla descrizione fisica (per quanto riguarda quello che crediamo esista nel mondo), non fa sicuramente parte della fisica.

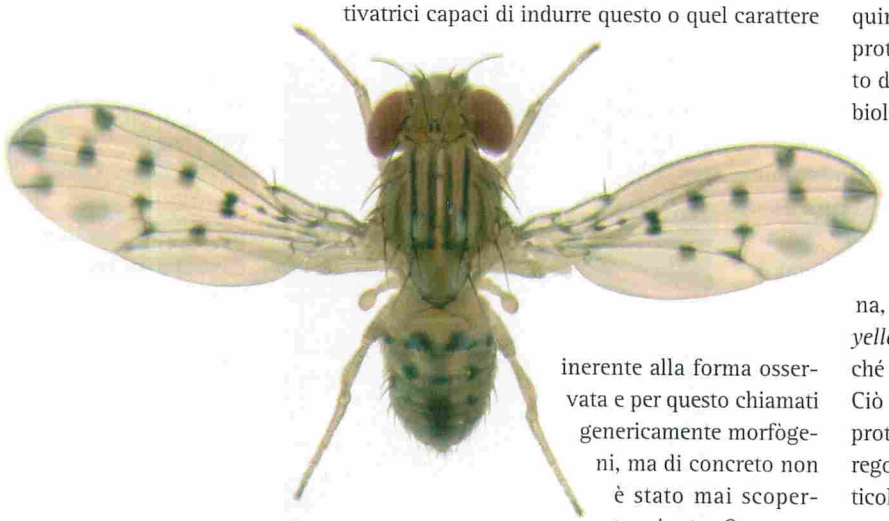
Noam Armonn/iStockphoto

# A caccia dei geni dei disegni

**di Edoardo Boncinelli**
Università Vita-Salute
San Raffaele, Milano

Molti animali presentano sulla superficie del corpo un certo numero di macchie disposte regolarmente o veri e propri disegni, in alcuni casi stupendi. Una conchiglia, il guscio di una tartaruga, l'ala di una farfalla, la coda del pavone, la livrea dei pesci tropicali, ma anche il mantello di una zebra o di un leopardo, sono esempi di pigmentazione variata, spesso vistosa e comunque programmata. I biologi dello sviluppo si sono chiesti per decenni come tutto questo possa avvenire con regolarità a ogni generazione.

Non sono mancati i modelli teorici del modo in cui questi disegni si possano formare durante lo sviluppo dell'animale in questione, modelli che invocano spesso l'azione di molecole diffusibili attivatrici capaci di indurre questo o quel carattere inerente alla forma osservata e per questo chiamati genericamente morfògeni, ma di concreto non è stato mai scoperto niente. Ora sembra che sia stato trovato il primo esempio di uno di questi morfògeni, e che ci si possa incamminare verso una spiegazione dettagliata anche di questi interessanti fenomeni (si veda Werner T. e altri, in «Nature», Vol. 464, pp. 1143-1148).



L'ala di un moscerino, *Drosophila guttifera*, parente della più famosa *Drosophila melanogaster*, mostra 20 macchie (16 nere e 4 grigie) sempre nella stessa posizione, e quindi geneticamente determinate. Studiare la genetica del moscerino è assai facile, e negli ultimi anni sono state messe a punto alcune tecniche molecolari di rara efficienza. In questo modo è stato possibile studiare l'origine del disegno dell'ala in questione, e la sua progressione evolutiva.

Le macchie scure che spiccano su un fondo trasparente e giallastro sono causate dalla produzione locale di melanina, un pigmento scuro. Per ottenere questo pigmento è necessario il prodotto di un gene specifico molto noto agli addetti ai lavori, e indicato come *yellow*. In corrispondenza delle macchie ricordate si trova infatti la presenza del prodotto del gene *yellow*, segno evidente del fatto che in quei punti il gene in questione è attivo. Ma perché proprio lì e non altrove? Nel gene è stata individuata una breve regione di DNA che indirizza in modo specifico la sua espressione in quei 20 siti.

Si tratta di una regione molto ristretta, di soli 800 nucleotidi, che conferisce al gene quella specifica localizzazione. La regione di controllo, detta come tutte le analoghe «regione di controllo in *cis*», attrae una proteina specifica che vi si lega: la localizzazione del prodotto del gene *yellow* è quindi riconducibile alla localizzazione di quella proteina, che a sua volta risulta legata al prodotto del gene *wingless*, una vecchia conoscenza dei biologi dello sviluppo, ma anche di chi studia i tumori, perché una variante di questo gene può causare tumori nei mammiferi e comportarsi quindi da oncogène.

Ricapitoliamo. Le macchie nere o scure sono date dalla localizzazione della melanina, formata su indicazione del prodotto del gene *yellow*. Questo gene è attivo lì e non altrove perché una sua piccola regione ne confina lì l'attività. Ciò è dovuto a sua volta al fatto che lì si trova la proteina prodotta da *wingless*, che contribuisce a regolare tutto lo sviluppo del moscerino, e in particolare delle sue ali, e che quindi è attivo in alcuni punti e non in altri.

Ma c'è di più. L'attività del gene *wingless* è limitata al centro delle diverse macchie, non si espande per tutta la loro estensione. Il fatto è che la proteina di *wingless* si può diffondere a qualche distanza dal proprio luogo di produzione e generare la forma delle diverse macchie. Almeno localmente, quindi, la proteina prodotta da *wingless* funziona da morfògeno. Ci troviamo quindi in presenza di un bell'esempio di spiegazione meccanicistica di una forma biologica.

Ma i ricercatori non si sono accontentati. Sono andati a studiare le macchioline sulle ali di specie affini: chi ne ha nove, chi ne ha tre, chi solo una, chi nessuna. Durante l'evoluzione c'è stato quindi un continuo va e vieni di meccanismi che controllano l'attività del gene *wingless* e quindi del numero e della localizzazione delle macchie.

Questi i fatti. Per le considerazioni rimandiamo al prossimo mese.

GRAZIE AL MOSCERINO. Esemplare di *Drosophila guttifera*, moscerino con le caratteristiche macchie nere e grigie sulle ali, il cui meccanismo genetico di formazione è stato chiarito da uno studio.

Sisismoleot vullum ilit lortie magnis nonsed dolore cor iriustie

# Un gioco da ragazzi

**di Piergiorgio Odifreddi**
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Il nucleo caratteristico della geometria greca in generale, e degli *Elementi* di Euclide in particolare, risiede nelle costruzioni con riga e compasso. E, per quanto riguarda i poligoni regolari, nelle tre costruzioni fondamentali del triangolo, del quadrato e del pentagono.

Tutte le altre costruzioni dei poligoni regolari ottenute dai Greci si riducono al raddoppio di un poligono già ottenuto, o al «minimo comune multiplo» di due: per esempio il poligono a 15 lati alla combinazione di un triangolo e un pentagono. In altre parole, i Greci erano riusciti a costruire poligoni che avessero un numero di lati pari a una potenza di 2, eventualmente moltiplicata per 3, o per 5, o per entrambi. La lista dei numeri di lati dei poligoni che si sapevano costruire era dunque 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16, 20, 24, 30, 32...

Si può immaginare che i Greci pensassero di aver fatto il possibile, enumerando una lista esauriente. Ma nel 1796 una matricola di 19 anni dimostrò che si sbagliavano, perché il poligono regolare di 17 lati si può costruire con riga e compasso.

Quella matricola si chiamava Carl Friedrich Gauss, e già da bambino aveva stupito genitori e maestri con il suo talento fuori del comune. A 19 anni, con il risultato sul poligono regolare di 17 lati, o eptadecagono, Gauss stupì se stesso. Da allora decise che sarebbe diventato un matematico, e iniziò a tenere un diario in cui annotare i propri teoremi, a partire da quello.

Nel giro di un paio d'anni Gauss risolse completamente il problema della costruzione di poligoni regolari con riga e compasso. Le *Disquisizioni aritmetiche*, pubblicate nel 1801 ma già terminate nel 1798, si concludono infatti con l'affermazione che si possono costruire esattamente i poligoni regolari che hanno un numero di lati pari a una potenza di 2, eventualmente moltiplicata per un numero finito di primi distinti del tipo 2 elevato a $2^n + 1$.

Oggi noi chiamiamo «primi di Fermat» quelli del tipo indicato da Gauss, e non sappiamo se ce ne sono infiniti: anzi, per ora ne conosciamo solo cinque. I primi due sono 3 e 5, e coprono i casi studiati dai Greci. Gli altri tre sono 17, 257 e 65.537, e forniscono i tre nuovi poligoni costruibili fondamentali scoperti da Gauss.

I prodotti distinti dei cinque primi di Fermat noti sono 31, il maggiore dei quali è 4.294.967.295. Corrispondono ai cinque poligoni costruibili fondamentali, e ai 26 ottenibili da essi come «minimi comuni multipli». I rimanenti poligoni costruibili noti si ottengono da questi 31, per successivi raddoppi dei lati.

Certo, un conto è dimostrare, come ha fatto Gauss, che certi poligoni sono costruibili in teoria, e un altro è mostrare come costruirli in pratica. Johannes Erchinger lo fece nel 1825 per il poligono a 17 lati, Friedrich Julius Richelot nel 1832 per quello a 257, e Johann Gustav Hermes nel 1894 per quello a 65.537. Quest'ultima costruzione, in particolare, richiese dieci anni di lavoro e un baule di istruzioni.

Di nuovo, un conto è dimostrare, come ha fatto Gauss, che se un poligono soddisfa la condizione allora è costruibile, e un altro è semplicemente annunciare il contrario. La dimostrazione mancante fu prodotta nel 1837 da Wantzel, e da essa deriva in particolare che l'ennagono regolare non è costruibile. Dunque, non essendo neppure costruibile l'angolo di 40 gradi che corrisponde a un suo lato, l'angolo di 120 gradi non è trisecabile. In questo modo Wantzel dimostrò l'insolubilità di due dei famosi problemi dei Greci, rimasti aperti per due millenni.

Quanto a Gauss, considerò la costruzione dell'eptadecagono come il suo miglior risultato, e chiese che il poligono gli venisse inciso sulla tomba. Sembra però che lo scalpellino del cimitero di Gottinga si sia rifiutato, sostenendo che aveva troppi lati, e non sarebbe risultato diverso da un cerchio. Evidentemente non conosceva l'*Ercole al bivio*, che già verso il 1500 Girolamo da Benvenuto aveva con successo inserito in una cornice a 17 lati.

TALENTO PRECOCE. Carl Friedrich Gauss in un ritratto di C.A. Jensen conservato all'Archivio della Georg-August-Universität di Gottinga. Poco più che ventenne, Gauss risolse il problema della costruzione di poligoni regolari con riga e compasso.

Archivio «Le Scienze»

# La macchina dei record

**di Roberto Battiston**
Professore ordinario
di fisica sperimentale
all'Università di Perugia
www.robertobattiston.it

Ormai da più di sei mesi LHC, il grande acceleratore del CERN, funziona regolarmente, e migliaia di fisici che lavorano nei quattro grandi esperimenti sono impegnati nell'analisi dei dati raccolti.

LHC è la macchina dei record: oltre a essere il più grande acceleratore del mondo, è il posto più freddo dell'universo, dato che i suoi 1600 magneti operano a 1,8 kelvin, ma anche il più caldo, dato che nelle collisioni ad altissima energia si raggiungono temperature di decine di milioni di miliardi di gradi caratteristiche dei primi istanti dopo il big bang, valori rispetto a cui i nuclei delle stelle sembrano tiepidi. Per rendersi conto di quanto sia straordinario, basti pensare che una settimana di dati presi alla massima energia finora raggiunta, 7 teraelettronvolt, circa 8000 volte la massa di un atomo di idrogeno, ha già permesso di pubblicare un centinaio di articoli scientifici di buona qualità.

LA PRIMA VOLTA. Le altissime energie del Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra permettono di rivelare quotidianamente con facilità tutte le particelle note, incluse alcune che in altri acceleratori richiedevano mesi o anni di misurazioni. Nella foto, i festeggiamenti degli scienziati dell'esperimento Alice all'arrivo dei dati delle prime collisioni ad alta energia, il 30 marzo 2010.

Cortesia CERN

Più la temperatura e l'energia sono alte più entriamo nel regno delle particelle elementari e delle forze fondamentali. I mattoni dell'universo si possono classificare in tre generazioni di particelle elementari, ciascuna comprendente due leptoni e due quark oltre alle corrispondenti antiparticelle. I leptoni, l'elettrone, il muone e il tau, con i tre neutrini a essi collegati, si mostrano ai nostri strumenti con la loro caratteristica assenza di una dimensione fisica misurabile; sono, agli effetti pratici, puntiformi. I quark invece, elementari anche loro ma molto restii a mostrarsi, si presentano ai nostri strumenti sempre nella forma di coppie quark-antiquark (i mesoni) o di tripletti di quark o di antiquark (i barioni). Questi agglomerati dei timidi quark sono gli adroni, come per esempio i protoni e i neutroni di cui sono fatti tutti i nuclei atomici. Essendoci sei tipi di quark e, corrispondentemente, sei tipi di antiquark, le combinazioni possibili sono parecchie centinaia, e l'equivalente tavola di Mendeleev degli adroni risulta ben più grande di quella degli elementi chimici.

In fisica delle particelle, la temperatura è in qualche modo l'equivalente della democrazia. A basse temperature, come quella dell'ambiente in cui viviamo, è presente solo una piccolissima frazione delle particelle elementari. Mentre i leptoni sono stabili, infatti, tutti gli adroni tranne il protone decadono in tempo più o meno breve in particelle più leggere. Lo stesso neutrone, lasciato a se stesso, in media dopo un quarto d'ora decade, a meno che non sia all'interno di un nucleo atomico. Negli urti ad altissima energia vengono invece creati tutti i tipi di adroni formati da combinazioni di quark leggeri e pesanti. È come stare nella piazza principale di un paese alle quattro di notte o a mezzogiorno di domenica: nel secondo caso si possono incontrare tutti gli abitanti.

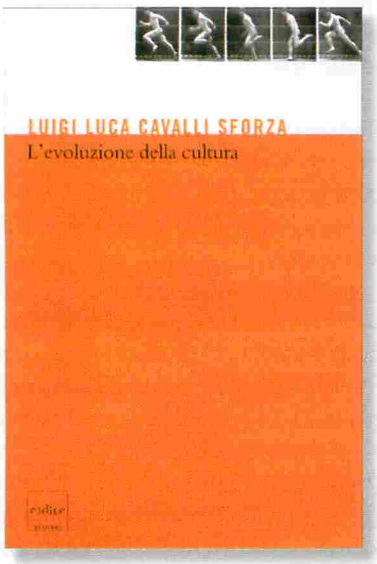
In LHC gli esperimenti osservano con facilità tutte le particelle note, dai leggerissimi elettroni al superpesante quark top, e tutti mediatori delle forze elementari, dai fotoni senza massa ai pesanti bosoni intermedi W e Z, responsabili della forza elettrodebole. La scoperta dei bosoni W e Z e del quark top è stata fatta in passato presso acceleratori di energia molto più bassa, richiedendo mesi o addirittura anni di misura, mentre con LHC queste particelle sono rivelate quotidianamente e usate per calibrare gli esperimenti.

Questa ovviamente non è una sorpresa, ma una conferma che la macchina e gli esperimenti stanno funzionando a dovere e nei prossimi anni saranno in grado di affrontare ricerche ben più difficili, come il bosone di Higgs, le particelle supersimmetriche o altri fenomeni inattesi che, si spera, la natura ci riserva. Per farlo, LHC dovrà aumentare la sua energia di un fattore quattro e, soprattutto, l'intensità dei suoi fasci, un parametro detto luminosità, di quasi 10.000 volte. Saranno anni di duro lavoro, ma la direzione è ben definita, e tutto il mondo guarda al CERN e al suo straordinario microscopio, LHC, in attesa della prossima fondamentale scoperta.

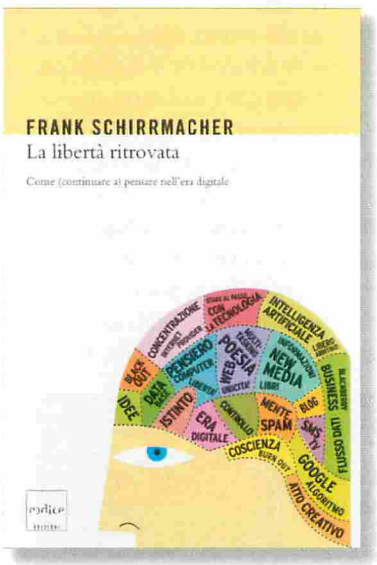
La divulgazione è fondamentale
per la scienza; se rimane isolata
la scienza perde i legami con la società
e fallisce nel suo obiettivo
*Umberto Veronesi*

Codice Edizioni s.r.l.
via G. Pomba 17
10123 Torino
t +39.011.19700579/580
f +39.011.19700582
www.codiceedizioni.it
info@codiceedizioni.it

codice
EDIZIONI




Luigi Luca Cavalli Sforza
## L'evoluzione della cultura
*Nuova edizione aggiornata*
pp. 216, euro 16,00



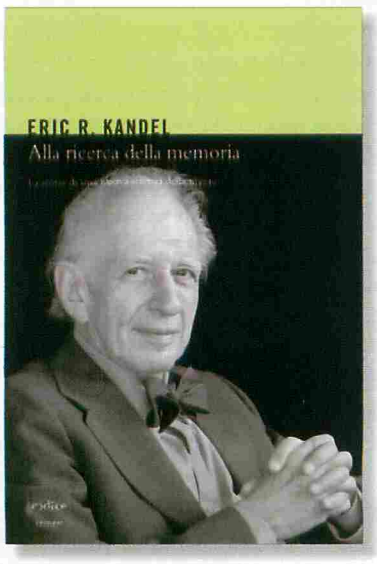

Frank Schirrmacher
## La libertà ritrovata
*Come (continuare a) pensare nell'era digitale*
pp. 200, euro 23,00

La parola *evoluzione* è equivalente a *storia*. Sono anzi convinto che la storia, quindi l'evoluzione, sia la chiave per capire il presente. L'evoluzione è anche meglio della storia, essendo una teoria ben collaudata in un numero di discipline sempre crescente

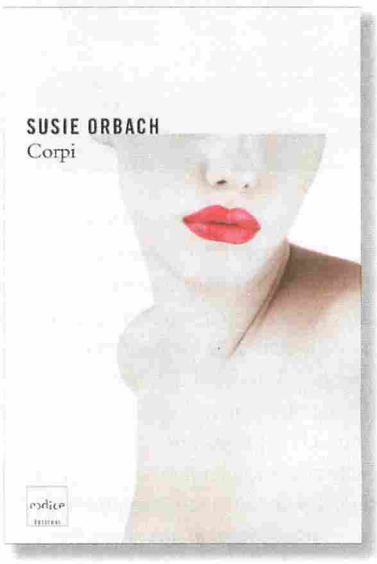
Luigi Luca Cavalli Sforza

La società che riprende con rinnovato vigore il controllo del proprio pensiero è quella dove scuole e università non insegnano pensieri ma modi di pensare, nonché la possibilità di riconoscere, nell'epoca dei motori di ricerca, il valore della domanda giusta

Frank Schirrmacher




Eric R. Kandel
## Alla ricerca della memoria
*La storia di una nuova scienza della mente*
pp. 504, euro 27,00




Susie Orbach
## Corpi
pp. 160, euro 17,00

In che modo la mente acquisisce la conoscenza del mondo? Quanta parte della mente è ereditata? Queste domande non appartengono più al dominio delle speculazioni metafisiche, ma sono ora terreni fertili della ricerca sperimentale

Eric R. Kandel

Che cos'è esattamente questo corpo in cui cerchiamo di vivere? Quale parte di noi rappresenta? Come dovremmo relazionarci con esso?

Susie Orbach

BIOETICA

# Obama e la biologia sintetica

## Richiesto un rapporto alla Commissione di bioetica che ha discusso del tema

Il primo incontro ufficiale della nuova Commissione di bioetica nominata dall'Amministrazione Obama è stato dedicato alla biologia sintetica e ai problemi che questo nuovo settore solleva. Il presidente degli Stati Uniti Barack Obama ha incaricato la commissione di occuparsi di biologia sintetica proprio nel giorno della pubblicazione su «Science» dello studio del gruppo di Craig Venter in cui era stata annunciata la produzione di un microrganismo con un genoma sintetizzato, cioè costruito in laboratorio a partire da una sequenza informatica. Il presidente statunitense ha chiesto alla commissione un rapporto sulle implicazioni legali, mediche, ambientali e di sicurezza. Atteso per la fine dell'anno, il testo conterrà raccomandazioni e suggerimenti, ma non avrà valore vincolante.

La Commissione ha invitato a testimoniare scienzati di punta del settore, come George Church della Harvard University, Drew Endy della Stanford University e lo stesso Venter, e anche eticisti, sociologi, esperti di biosicurezza e rappresentanti dell'FBI, ecologi e organizzazioni ambientaliste preoccupate per i possibili effetti negativi del rilascio nell'ambiente di organismi con genoma sintetico. Tra i possibili benefici suggeriti ci sono la produzione di nuovi vaccini in tempi ridottissimi e di biocarburanti. Tra i possibili rischi, il rilascio accidentale di organismi sintetici e la produzione di nuovi patogeni.

*Oggetto di discussione* è stata anche la diffusione di movimenti di biologi «amatoriali», che lavorano in piccoli laboratori casalinghi. Il più noto si chiama DIYbio (biologia fai-da-te), e da mesi sta raccogliendo l'attenzione dei media ma anche dell'FBI e delle agenzie regolatorie. Come suggerito durante l'incontro, in futuro potrebbe bastare una strumentazione minima per scaricare una sequenza di DNA da Internet, modificarla a piacimento e sintetizzare un genoma che possa poi essere impiantato in una cellula e quindi riprodotto. Per alcuni partecipanti un passo verso una nuova (e diffusa) industria legata alla biologia, per altri un pericolo per la sicurezza ambientale e il bioterrorismo.

Il dibattito ha anche affrontato il problema della differenza tra queste tecniche e la biotecnologia classica: differenze minime per alcuni, mentre per Venter il fatto che uno scienziato possa sintetizzare un nuovo genoma partendo da informazione digitale «cambia le regole del gioco». Non è un problema da poco, nel momento in cui si deve decidere se far ricadere la biologia sintetica all'interno delle regole esistenti per le biotecnologie, come avviene ora, oppure se pensare norme *ad hoc*.

La commissione continuerà a riunirsi nei prossimi mesi dopo aver raccolto suggerimenti e interventi dai cittadini e dai gruppi che lavorano in questo settore.

**Alessandro Delfanti**

Martin H. Simon/Corbis

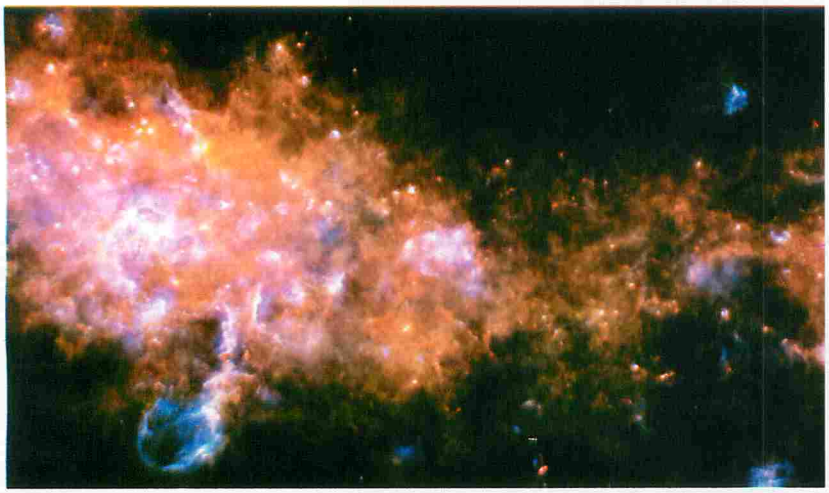
IL PRESIDENTE E LO SCIENZIATO. Barack Obama assegna la National Medal of Science a Craig Venter durante una cerimonia tenutasi nell'ottobre scorso alla Casa Bianca. Lo scienziato è stato premiato per i suoi contributi nel campo della genomica.

ASTRONOMIA

# Prime meraviglie da Herschel

## Il telescopio spaziale ha iniziato a fornire immagini spettacolari e dati importanti

Lanciato il 14 maggio 2009, dopo alcuni mesi di test, in ottobre l'Herschel Space Observatory dell'Agenzia spaziale europea ha iniziato a produrre osservazioni, tanto che «Astronomy and Astrophysics» ha dedicato a Herschel un fascicolo speciale, raccogliendo 152 articoli basati sui dati raccolti nei primi mesi di attività.



MILLE ANNI FA, OGGI. L'immagine ripresa da Herschel di una regione della Costellazione dell'Aquila, a 1000 anni luce alla Terra.

Conosciuto in fase di progetto come FIRST (Far InfraRed and Submillimetre Telescope), l'osservatorio orbitante – dedicato nel 2000 a William Herschel, che nel 1800 scoprì la radiazione infrarossa – è costituito da un telescopio riflettore da 3,5 metri di apertura su cui sono montati tre rivelatori dedicati a fotometria, *imaging* e spettroscopia nel lontano infrarosso e nella banda submillimetrica. Scopo primario di Herschel è studiare la fisica dei processi che coinvolgono il mezzo interstellare, tenuto conto che circa la metà della radiazione emessa nell'universo dall'epoca della ricombinazione a oggi (tipicamente a lunghezze d'onda dall'ultravioletto al vicino infrarosso) è stata assorbita dalla polvere e dal gas interstellare per essere poi riemessa a lunghezze d'onda maggiori, proprio quelle a cui sono sensibili i rivelatori di Herschel.

Fra gli articoli spiccano tre contributi. Il primo riguarda la zona di cielo osservata già da altri strumenti nell'ambito della *survey* GOODS (Great Observatory Origins Deep Survey). Le immagini mostrano una miriade di galassie comprese fra 3 e 10 miliardi di anni luce, offrendo una nuova visione di questa porzione di universo. Il secondo riguarda una zona di formazione stellare distante circa 1000 anni luce, in direzione della Costellazione dell'Aquila, dove Herschel ha individuato 700 nuove condensazioni ancora avvolte dalle polveri e dai gas interstellari, di cui 100 sono protostelle. Alcuni degli altri 600 oggetti diventeranno stelle di una generazione successiva. Il terzo è uno spettro ad altissima risoluzione di una zona della Nebulosa di Orione, la regione di formazione stellare più vicina a noi, che, oltre all'acqua, mostra la presenza di molte molecole, dal monossido di carbonio al metanolo.

La missione Herschel è progettata per durare tre anni e mezzo. E questo è solo l'inizio.

**Emiliano Ricci**

## LA FORMAZIONE STELLARE VISTA DA HUBBLE

Una nuova immagine dell'Hubble Space Telescope mostra la vasta regione di formazione stellare NGC 2467 a un livello di dettaglio mai raggiunto prima. Frutto della combinazione di più riprese raccolte con tre filtri diversi dalla Advanced Camera for Surveys (ACS), l'immagine mostra la struttura dell'ammasso stellare, composto da stelle giovani e caldissime, e permette di studiarne la complessa interazione con la nebulosità circostante, composta essenzialmente da idrogeno e nubi di polveri (le zone scure), da cui queste stelle sono nate.

I calcoli evidenziano infatti che la maggior parte della radiazione che illumina la nebulosa proviene dalla stella centrale dell'ammasso, estremamente calda e brillante, capace di spazzare via il guscio di materia che la avvolgeva. Intanto, ai margini della regione stessa, dove si osservano nuovi addensamenti di gas e polveri, si è innescata la nascita di una seconda generazione di stelle. NGC 2467 dista da noi circa 13.000 anni luce, in direzione della costellazione australe della Poppa.

**Emiliano Ricci**

ESA/Herschel Consortium (*Costellazione dell'Aquila*); NASA, ESA e Ursula De Marco, Macquarie University (*NGC 2467*)

ASTRONOMIA

# Dalla Terra come dallo spazio

## Una tecnica innovativa migliora le prestazioni dei telescopi terrestri

Fin dai tempi di Galileo, è noto a chi studia il cielo notturno con un telescopio che spesso si può notare uno sfarfallio nella luce delle stelle che riempiono la volta celeste. Un fenomeno estremamente fastidioso per le osservazioni astronomiche, a cui si è rimediato con l'invenzione di una tecnica correttiva: la cosiddetta ottica adattiva. L'ultimo passo in avanti in questo campo è stato fatto da Michael Hart, professore di astronomia dell'Università dell'Arizona. E, come dimostra l'articolo pubblicato su «Nature», si tratta di un passo innovativo, che permette di compensare lo sfarfallio del cielo notturno su un ampio angolo di visuale, consentendo in questo modo ai telescopi terrestri di raggiungere le prestazioni dei telescopi spaziali, come Hubble.

La maggior parte delle distorsioni della luce stellare, dovute a turbolenze atmosferiche, avviene a quote inferiori a 500 metri per effetto del calore emanato dalla superficie terrestre. Sulla base di questi dati, Hart ha sviluppato una tecnica con cui migliorare enormemente le prestazioni dell'ottica adattiva. Dall'osservatorio di Mount Hopkins, a sud di Tucson, ha puntato un fascio laser verde verso la volta celeste notturna. Parte del fascio è diffusa dalle molecole di ossigeno e di azoto in atmosfera, creando cinque stelle artificiali nel campo di vista che hanno funzione di riferimento per le correzioni apportate con ottica adattiva, contro la singola stella dei sistemi attuali.

Le informazioni relative alla turbolenza sono inserite in un computer che gestisce gli specchi adattivi e li flette esattamente di quanto è necessario per cancellare lo sfarfallio causato dalle turbolenze. Rispetto alle tecniche attuali, quella di Hart ha il vantaggio di coinvolgere un angolo di vista molto ampio, anche se a scapito della risoluzione. Ma, come osserva Hart, si tratta di un compromesso accettabile per alcune applicazioni, per esempio l'osservazione di galassie molto distanti, fino a dieci miliardi di anni luce dalla Terra.

**Carola Bimbi**

IL RAGGIO VERDE. Il fascio laser verde emesso dall'Osservatorio astronomico di Mount Hopkins, in Arizona, usato per ottenere informazioni sulle turbolenze atmosferiche che degradano la qualità delle immagini scattate dal telescopio.

Cortesia Thomas Stalcup

## IL QUASAR SI FA LENTE

La «lente gravitazionale» è un fenomeno previsto dalla teoria della relatività generale di Einstein e si verifica quando, nello spazio, la luce di un oggetto sullo sfondo è piegata dalla gravità di un altro oggetto che, rispetto all'osservatore, è davanti. In questo modo, si produce un'immagine ingrandita del primo oggetto. Nell'ambito di osservazioni condotte con il Keck Observatory, situato sul Mauna Kea, ad Hawaii, alcuni ricercatori del California Institute of Technology e dell'Ecole Polytechnique Fédérale di Losanna hanno scoperto un quasar che ingrandisce l'immagine di una galassia. Fino a oggi erano stati individuati circa 100 casi di galassie in primo piano che ingrandivano un quasar, ma questa è la prima volta che si individua il fenomeno opposto, come scritto su «Astronomy & Astrophysics».

Il quasar in questione, in sigla SDSS J0013+1523, dista 1,6 miliardi di anni luce da noi e ingrandisce l'immagine di una galassia a 7,5 miliardi di anni luce dalla Terra. La scoperta permetterà di capire meglio come funzionano i quasar, per esempio determinandone con precisione la massa, legata all'entità della deflessione della luce emessa dalla galassia.

**Stefano Pisani**

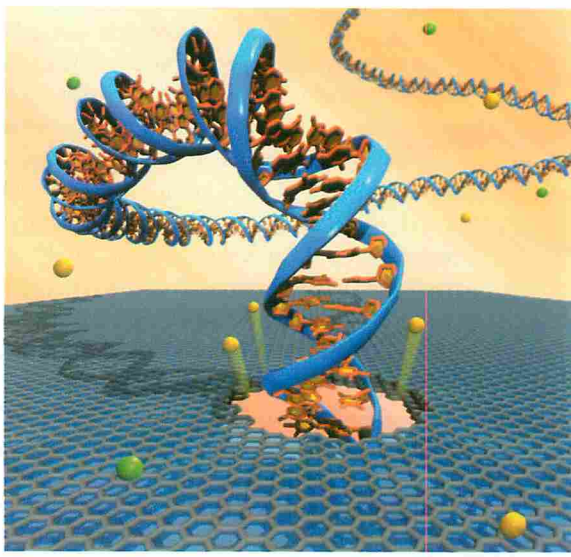
BIOLOGIA MOLECOLARE

# Sequenziamento facile

## Un nuovo metodo per sequenziare il DNA grazie alle nanotecnologie

Un team dell'Università della Pennsylvania ha messo a punto un metodo innovativo per il sequenziamento elettronico di singole molecole di DNA. La tecnica si basa sull'uso di campi elettrici per far penetrare i filamenti di DNA nei nanopori di un substrato di grafene, separando le basi che lo compongono.

Le quattro basi del DNA hanno una risposta elettrica univoca e differente tra loro, un'impronta digitale elettronica: identificare queste impronte direttamente all'interno nei nanopori senza ulteriori manipolazioni significa eseguire un sequenziamento rapido e automatizzabile. I pori, del diametro di 5-10 nanometri, sono ricavati con un fascio di elettroni in uno strato di grafene dello spessore compreso tra 1 e 5 nanometri. Il supporto così ottenuto, ricoperto con uno strato di diossi-



MATERIALE RIVOLUZIONARIO. Una matrice di grafene spessa appena 1-5 nanometri permetterà di rendere ancora più rapido il sequenziamento delle molecole di DNA.

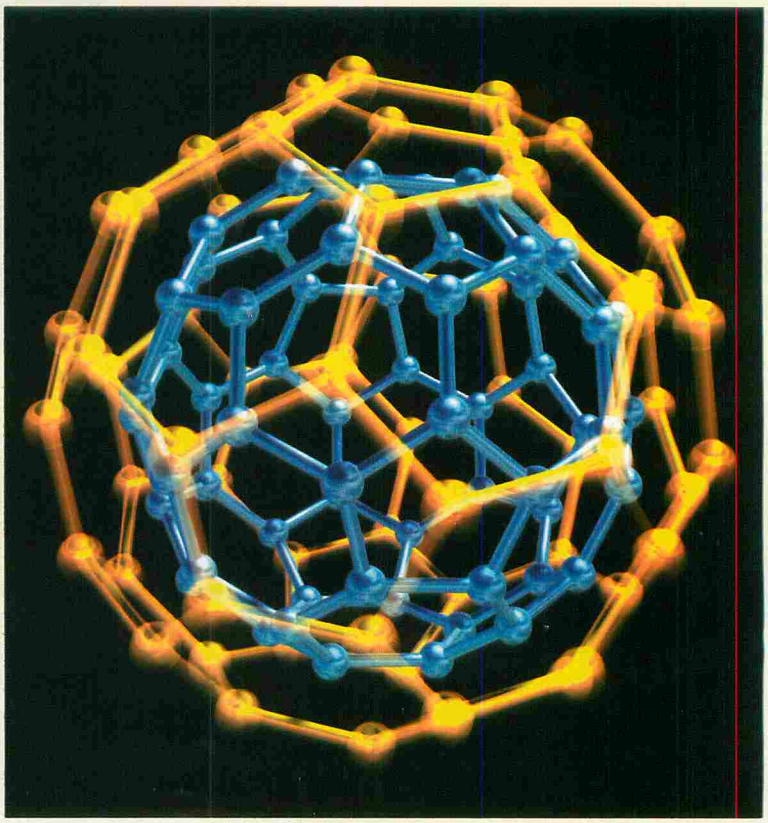
## FULLERENI NELLO SPAZIO

Per la prima volta sono stati individuati fullereni nello spazio, grazie al telescopio spaziale Spitzer della NASA. Il fullerene è una molecola complessa, ed è la più grande molecola di carbonio conosciuta. Gli atomi di carbonio sono disposti nei vertici di un poliedro a facce esagonali o pentagonali, secondo un'architettura che ricorda un pallone da calcio.

Sin dagli anni settanta si ipotizzava che molecole complesse di carbonio potessero fluttuare nello spazio cosmico, ma non erano mai state osservate. Gli scienziati dell'Università del Western Ontario hanno individuato fullereni, come si legge su «Science», in una nebulosa planetaria chiamata Tc 1, che si trova a 6500 anni luce dalla Terra. Gli astronomi hanno compiuto la loro scoperta mentre analizzavano lo spettro infrarosso della luce proveniente dalla nebulosa. Ricerche precedenti di queste molecole nello spazio, in particolare attorno a stelle ricche di carbonio, si erano rivelate infruttuose anche perché le firme spettrali dei fullereni erano sempre state in parte contaminate da altre sostanze.

In particolare, il gruppo di ricerca ha trovato anche una molecola più allungata di fullerene, conosciuta come $C_{70}$, costituita da 70 atomi di carbonio e con una forma ovale simile a una palla da rugby, che ha la maggiore elongazione fra le molecole conosciute.

**Stefano Pisani**



Pasieka/SPL/Contrasto (*fullereni*); Robert Johnson/Pennsylvania State University (*sequenziamento su grafene*)

do di titanio per migliorarne le proprietà elettriche e meccaniche, è quindi interposto tra due camere contenenti soluzione elettrolitica e DNA, alle quali è applicato una tensione per indurre un flusso di ioni attraverso i pori. Il flusso è proporzionale alla differenza di potenziale applicata.

Poiché le molecole di DNA sono contenute nell'elettrolita, anch'esse tendono a passare nei pori, ma lì bloccano il flusso degli ioni determinando una perdita nella corrente misurata. Le basi del DNA, però, avendo caratteristiche elettriche diverse, bloccano la corrente in modo differente e specifico. È proprio dalle differenti misure della corrente che attraversa i pori che si possono identificare univocamente le basi. L'uso di nanopori per la traslocazione del DNA non è nuovo, ma in genere i materiali impiegati per la fabbricazione del supporto hanno proprietà isolanti, mentre il grafene ha ottime caratteristiche di conduttore, che permettono misurazioni più accurate e facili rispetto ad altri substrati solidi. Il supporto messo a punto può essere quindi considerato il precursore di una nuova classe di dispositivi nanoporosi.

Marina Semiglia

## IL SENSO DEL PERICOLO DEGLI AFIDI

Quando un mammifero erbivoro bruca l'erba può facilmente ingerire un supplemento di proteine formato dai minuscoli insetti che, come gli afidi, vivono su di essa. Il destino di questi insetti non è tuttavia inesorabilmente legato a quello del loro filo d'erba: «Insetti minuscoli come gli afidi non sono completamente indifesi di fronte ai grandi animali che divorano le piante su cui vivono. Sono infatti in grado di rilevare rapidamente il pericolo e di scappare per tempo», spiega Moshe Inbar, dell'Università di Haifa, in Israele, che ha condotto una ricerca in proposito pubblicata su «Current Biology».

Nel corso di una serie di esperimenti, i ricercatori avevano rilevato che «sorprendentemente, il 65 per cento degli afidi delle colonie si buttava a terra appena prima di essere divorato con la pianta». Si sono quindi interrogati su quale fosse il meccanismo che permettesse loro di sfuggire a un ingrato destino. «Non appena abbiamo cominciato a lavorare sul problema, abbiamo sospettato che gli afidi rispondessero al nostro respiro», osserva Inbar.

Mentre un quarto degli afidi fuggiva quando la pianta veniva scossa, più della metà cadeva a terra in risposta al respiro della pecora che brucava. Le ombre non hanno invece alcuna influenza sul comportamento di fuga dei piccoli insetti. Ulteriori studi con un apparato di simulazione del respiro hanno permesso ai ricercatori di testare quali elementi del respiro innescassero la fuga. A quanto sembra non è la $CO_2$ né alcun altro composto chimico presente nel respiro dei mammiferi l'elemento che avverte gli afidi del pericolo, ma la presenza di un flusso di aria calda e con un tasso di umidità molto elevato, fino all'87 per cento.

Gianbruno Guerrerio


FORMAZIONE Universitaria On-Line

Iscrizioni aperte tutto l'anno

I MASTERS

Masters Internazionali di I e II livello in Nutrizione e Dietetica

*Con il patrocinio del Ministero della Salute*

Master di I livello in Bioetica per le Sperimentazioni Cliniche e i Comitati Etici

Gli iscritti ai Masters sono esonerati dall'obbligo E.C.M. ai sensi della Circ. Min. Salute n. 448 del 5 marzo 2002 (*G.U. n. 110 del 13 maggio 2002*)

I CORSI

Corso di Perfezionamento in "Esperto nell'Elaborazione di Diete"

Corso di Perfezionamento in "Nutrizione in Condizioni Fisiologiche"

INFO 071 2204160 www.funiber.it
339 3982164 univpm@funiber.org

Dipartimento di Biochimica, Biologia e Genetica
Università Politecnica delle Marche
Via Brecce Bianche - 60131 Ancona

1° Ateneo in Italia
LA REPUBBLICA-GUIDA CENSIS 2006
Università Politecnica delle Marche

FUNIBER
FONDAZIONE UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA

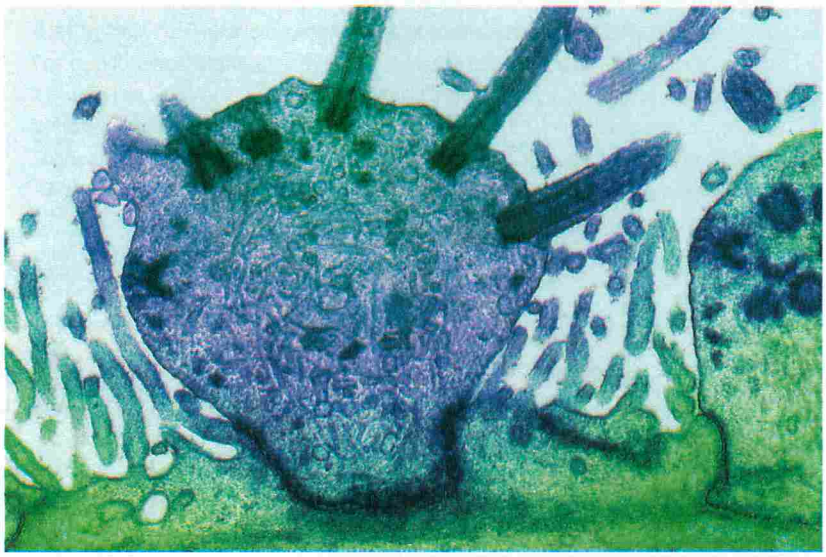
GESTIONE DELLA QUALITÀ
Norma: ISO 9001:2000
R. I. : 9000-1951

BIOLOGIA

# Nuove staminali

## Scoperte le cellule da cui hanno origine tre importanti classi di neuroni

Mentre la Food and Drug Administration annuncia l'autorizzazione al primo trial clinico per il trattamento con cellule neuronali derivate da staminali embrionali su pazienti che hanno subito gravi lesioni alla colonna vertebrale, dagli Stati Uniti arriva un'altra importante notizia in materia di staminali.



ALLE ORIGINI DELL'OLFATTO. Sopra, microfotografia di un recettore olfattivo, una delle tre classi di neuroni di cui sono state scoperte le cellule staminali progenitrici.

Steve Gschmeissner/SPL/Contrasto

Come si legge sulle pagine della rivista «Development», alcuni ricercatori del nuovo Institute for Neuroscience della George Washington University guidati Anthony-Samuel LaMantia, hanno individuato per la prima volta le cellule staminali che danno origine a tre importanti classi di cellule nervose: si tratta dei recettori olfattivi, dei neuroni vomeronasali e di quelli ipotalamici che producono un ormone di rilascio delle gonadotropine, cioè di quegli ormoni che a loro volta stimolano ovaie e testicoli dei mammiferi.

La scoperta è stata realizzata studiando le prime fasi di sviluppo di embrioni di topo. Le cellule presentano il tipico modo di divisione delle staminali: ciascuna di esse, infatti, dà origine a una cellula che poi andrà incontro a specializzazione e a una nuova cellula staminale. È stato inoltre possibile scoprire la localizzazione di queste cellule: in particolare, le staminali che generano i recettori olfattivi e i neuroni vomeronasali tappezzano le pareti delle cavità nasali, e per tutto il corso della vita dell'organismo provvederanno a rinnovare le cellule di quel tipo che nel tempo devono essere sostituite.

La ricerca, condotta sia su staminali embrionali in vitro sia su speciali topolini mutanti in vivo, si è avvalsa di particolari metodiche di ingegneria genetica per individuare i geni espressi e i prodotti della loro espressione, che mostrano chiaramente la natura e il cammino di trasformazione delle cellule staminali nei tre tipi di cellule neuronali adulte. Uno degli obiettivi primari dello studio è cercare correlazioni rispetto ad alcune importanti patologie umane: per quanto riguarda i neuroni olfattivi, la ricerca è indirizzata verso autismo, Alzheimer e schizofrenia, dove sovente la percezione olfattiva risulta compromessa già nei primi stadi della malattia. Per quanto riguarda invece i neuroni che controllano il rilascio delle gonadotropine, l'interesse è focalizzato su alcune situazioni di infertilità.

**Paola Nardi**

## LA GENERAZIONE SPONTANEA DEI PRIONI

Benché il Nobel per la loro scoperta sia stato assegnato a Stanley Prusiner nel 1997, i prioni rappresentano ancora oggi un'incognita per i biologi, e continuano a riservare sorprese. Si scopre infatti che possono generarsi spontaneamente anche in tessuti nervosi sani. I prioni sono una forma anomala di proteina la cui bizzarra natura scardina uno dei dogmi centrali della biologia molecolare: la replicazione in assenza di materiale genetico. Sono noti soprattutto in quanto agenti responsabili della malattia di Creutzfeldt-Jakob, meglio nota come morbo della mucca pazza, una malattia neurodegenerativa letale che, in una sua variante, può colpire anche l'uomo, e di altre patologie simili che hanno in comune la distruzione delle strutture cerebrali.
Un'equipe di ricercatori dello Scripps Research Institute, in Florida, e dello University College di Londra ha dimostrato, in uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», che i prioni possono generarsi spontaneamente attraverso un catalizzatore metallico, dando avvio al contagio

VIROLOGIA

# Contro tutte le influenze

## Un passo avanti verso un vaccino universale per i virus dell'influenza

Dato che i virus influenzali umani sono molto variabili, ogni anno occorre creare con mesi di anticipo un nuovo vaccino contro la loro variante più recente. Quando poi appare un ceppo pandemico, di vaccini bisogna farne addirittura due, rischiando, come accaduto con H1N1 nel 2009, di buttare via miliardi di euro se si scopre che il nuovo virus è così poco patogeno da non richiedere una vaccinazione di massa.

Ricercatori del National Institute of Allergy and Infectious Diseases, diretti da Gary J. Nabel, sembrano adesso molto vicini a un vaccino influenzale universale, che non costringa più a rincorrere le mutazioni dell'influenza. Come pubblicato on line su «Science Express», anche questo vaccino, come quelli stagionali, prende di mira l'emoagglutinina, la proteina a forma di fungo che tappezza i virus influenzali umani. La differenza è che finora i vaccini indirizzavano il sistema immunitario verso la testa dell'emoagglutinina, che è più visibile, ma molto variabile fra un ceppo virale e l'altro, mentre il nuovo vaccino ha per bersaglio la coda della molecola, che resta quasi identica in tutti i virus influenzali.

Per scatenare una reazione immunitaria sufficiente, Nabel e colleghi hanno iniettato in alcune cavie un vaccino a DNA che induceva le cellule dell'organismo a produrre continuamente la coda dell'emoagglutinina. Poi agli animali è stata praticata una seconda iniezione contenente o un vaccino influenzale stagionale o un virus del raffreddore modificati per esporre l'emoagglutinina, in modo da stimolare una forte reazione immunitaria verso di essa. Tre settimane dopo negli animali era presente un'alta concentrazione di anticorpi contro la coda dell'emoagglutinina, e quando sono stati esposti a vari ceppi influenzali apparsi fra il 1934 e il 2007, compreso l'H5N1 dell'aviaria, il loro sistema immunitario ha resistito a ognuno di essi. Venti topi protetti solo con il vaccino stagionale 2006, per esempio, sono morti quando esposti al ceppo del 1934, mentre ne sono morti solo 4 su 20 fra quelli protetti con il vaccino universale.

Lo studio sarà ora ripetuto su scala maggiore e, secondo Nadel, «potremmo riuscire iniziare i primi trial sull'uomo entro tre-cinque anni».

**Alex Saragosa**

Dita Alangkara/AP Photo/LaPresse

TROPPO VARIABILI. La grande variabilità dei virus dell'influenza è una sfida che si ripete ogni anno ed è in parte legata alla diversità dei vettori animali che potrebbero trasmetterli all'uomo.

se inoculati in una coltura cellulare. I ricercatori hanno rivestito semplici tubi in acciaio con una soluzione omogeneizzata di tessuto cerebrale non infetto e verificato che, dopo il contatto con la superficie catalitica, la soluzione era in grado di infettare topi sani.

Nello studio è stato usato il test per la scrapie, la variante che colpisce le pecore, sensibile a quantità minime di prioni. Inatteso il risultato: l'agente patogeno era presente nei saggi di controllo, in cui il catalizzatore è a contatto con tessuto non infetto. Per escludere eventuali contaminazioni, il test è stato ripetuto in un altro laboratorio, mai usato per ricerche sui prioni.

L'originalità della scoperta sta nel fatto che la diffusione prionica avviene benché le molecole, nella loro forma naturale, non entrino mai in contatto con la corrispondente variante patogena – caratterizzata dalla stessa sequenza amminoacidica, ma ripiegata a formare una diversa struttura tridimensionale – condizione ritenuta finora indispensabile per la propagazione nei tessuti nervosi. Basta quindi un catalizzatore inorganico per determinare la conversione da una forma a un'altra. Un importante passo verso la comprensione del meccanismo molecolare che sottende questa trasformazione, che avviene senza alcuna istruzione codificata in un segmento di DNA o RNA.

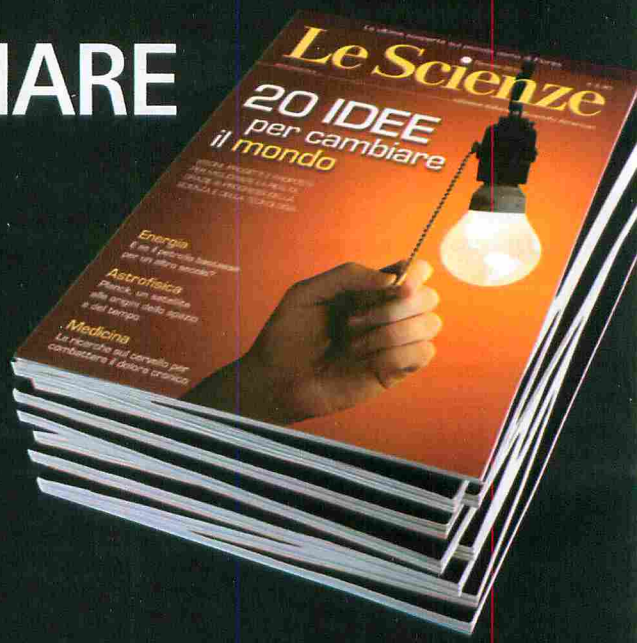
**Davide Patitucci**

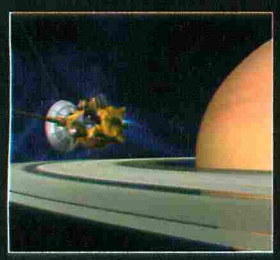
GÖTTSCHE.

# Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

## PER SCOPRIRE UN ABBONAMENTO CHE TI FA RISPARMIARE OLTRE € 40,00 NON DEVI ANDARE LONTANO.



**ABBONARSI È CONVENIENTE**
e la convenienza cresce con la durata dell'abbonamento

**ABBONARSI È COMODO**
e riceverai la tua rivista tutti i mesi a casa, e con la certezza del prezzo bloccato

**ABBONARSI È FACILE**
basta compilare la cartolina allegata ed imbucarla senza affrancatura.

| ABBONAMENTO | | RISPARMIO |
|---|---|---|
| annuale | € 39,00 | € 7,80 |
| biennale | € 75,00 | € 18,60 |
| triennale | € 99,00 | € 41,40 |

**30% di sconto**
**10 NUMERI GRATIS**

**COMPILA E SPEDISCI LA CARTOLINA CHE TROVI INSERITA NELLA RIVISTA O TELEFONA AL 199.700.721* (DA MILANO O CELLULARI: 02 39633433), O COLLEGATI A WWW.LESCIENZE.IT**

*IL COSTO MASSIMO DELLA TELEFONATA DA RETE FISSA È DI 14,26 CENT/€ AL MINUTO + 6,19 CENT/€ ALLA RISPOSTA (IVA INCLUSA).

BIOLOGIA MOLECOLARE

# Zanzare antimalaria

## Realizzato il primo insetto GM incapace di trasmettere il plasmodio

Per anni, ricercatori di tutto il mondo hanno tentato di realizzare zanzare geneticamente modificate (GM), incapaci di trasmettere la malaria agli esseri umani. Questi sforzi sono sempre falliti: gli insetti erano ancora in grado di inoculare il parassita che causa la malattia, il plasmodio, ma in quantità inferiore. Ora, però, entomologi dell'Università dell'Arizona sono riusciti nell'impresa, generando zanzare GM completamente immuni.

«Se si vuole bloccare efficacemente la diffusione della malaria è necessario che le zanzare siano al 100 per cento resistenti al parassita. Se un unico plasmodio riesce a introdursi e a infettare un essere umano, l'intero approccio sarà destinato a fallire», spiega Michael Riehle, professore di entomologia e principale autore dello studio, pubblicato su «Public Library of Science Pathogen».

Il team di Riehle ha progettato, con tecniche di biologia molecolare, un frammento di informazione genetica capace di autoinserirsi nel genoma della zanzara. Questo costrutto è stato poi iniettato in uova di zanzara della specie *Anopheles stephensi*, un importante vettore della malaria nel Subcontinente indiano.

Il bersaglio dei ricercatori era uno dei molti percorsi biochimici all'interno delle cellule di zanzara. In particolare, il costrutto genetico agisce come interruttore molecolare per il complesso controllo di funzioni metaboliche. Essendo sempre impostato su *on*, l'interruttore rende sempre attivo un enzima di segnalazione chiamato Akt, un messaggero molecolare in diverse funzioni metaboliche, inclusi lo sviluppo larvale, la risposta immunitaria e la durata della vita. Esaminando le zanzare GM dopo averle nutrite con sangue infetto, si è visto che nessun esemplare era stato infettato dal plasmodio. «Siamo rimasti sorpresi nel constatare quanto funzioni bene», ha detto Riehle.

La malaria colpisce ogni anno circa 250 milioni di persone, un milione delle quali – in gran parte bambini – non sopravvive. Non ci sono vaccini efficaci, perciò l'unica speranza per sradicare la malattia potrebbe risiedere in queste zanzare GM, conferendo loro un vantaggio che le porti, nel tempo, a soppiantare le popolazioni naturali.

**Eugenio Melotti**

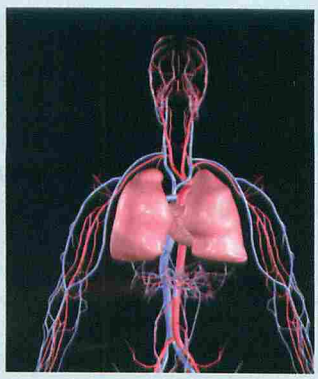
UN SUCCESSO MOLTO ATTESO. La realizzazione di esemplari di *Anopheles stephensi* geneticamente modificati in modo da non essere infettati dal parassita che trasmette la malaria rappresenta un successo ricercato da tempo nei laboratori di tutto il mondo.

## COSTRUIRE UN POLMONE ARTIFICIALE

Cinquanta milioni di persone in tutto il mondo soffrono di patologie polmonari croniche. Per molte di loro l'unica soluzione è il trapianto, ma la scarsità di organi disponibili è un grosso limite.

Harald Ott e colleghi, del Massachusetts General Hospital, hanno recentemente descritto su «Nature Medicine» un metodo per costruire un polmone artificiale che potrebbe essere usato nei trapianti.

I ricercatori hanno rimosso le cellule dai polmoni di un ratto adulto conservando soltanto la struttura di base dell'organo originale, in modo da poterla usare successivamente come impalcatura sulla quale far crescere le nuove cellule. Dopo aver «seminato» questa struttura con diversi tipi di cellule, hanno osservato che la matrice così ripopolata svolgeva correttamente le funzioni polmonari. Per verificarne la funzionalità in vivo, gli autori hanno trapiantato nei ratti i polmoni artificiali, che hanno continuato a svolgere la loro attività di scambio gassoso per sei ore. Questi risultati aprono la strada alla possibilità di rigenerare in laboratorio i polmoni di pazienti colpiti da malattie che ne hanno compromesso in modo irreparabile la funzionalità.



**Enrico Properzi**

Volker Steger/SPL/Contrasto (*zanzara*); Aaliya Landholt/Stockphoto (*polmoni*)

BIOLOGIA MOLECOLARE

# Personalissime feci

## I virus che vivono nel nostro intestino hanno un genoma unico e individuale

Enrico Fianchini/iStockphoto

Il genoma dei virus che popolano le feci potrebbe essere una «firma» caratteristica e unica dell'individuo che le produce. Lo rivela un lavoro pubblicato su «Nature» da un gruppo di ricerca coordinato da Jeffrey Gordon, dell'Università di Washington. Lo studio ha analizzato le deiezioni di coppie di gemelle, scoprendo che, nonostante la somiglianza genetica, i virus che popolano le loro feci hanno un DNA del tutto differente. Ciò suggerisce che le feci rappresentino una specie di carta d'identità del loro proprietario.

La ricerca è legata al nuovo modo con cui la scienza considera oggi i microrganismi che vivono nel nostro corpo, solo una piccola parte dei quali è nociva. In condizioni normali, un adulto ospita alcuni chilogrammi di batteri, distribuiti fra occhi, bocca, pelle, cavità varie e, soprattutto, intestino. L'insieme di questi microbi svolge funzioni essenziali per la digestione e l'azione del sistema immunitario. Secondo la cosiddetta «ipotesi dell'igiene», un'esposizione insufficiente ai microrganismi spiegherebbe in parte la diffusione di allergie, obesità

## L'ALTRA FACCIA DELLA MORFINA

La morfina può sopprimere la crescita di nuovi vasi sanguigni nei tumori. È questa l'importante scoperta recentemente pubblicata sull'«American Journal of Pathology».

Oggi la morfina è il principio analgesico più usato in medicina, soprattutto nella terapia del dolore cronico, come quello provocato dal cancro. La scoperta di questo ruolo anti-angiogenico potrebbe aprire la via per nuovi usi della sostanza. L'angiogenesi è il processo fisiologico di sviluppo di nuovi vasi sanguigni, fondamentale durante la crescita dell'organismo e anche, per esempio, nella rigenerazione del tessuto delle ferite. L'angiogenesi può però diventare patologica, come avviene, per esempio, nelle neoplasie: quando un tumore inizia a sviluppare un proprio sistema di vasi sanguigni si segna il passaggio da benigno a maligno.

Sabita Roy, della School of Medicine dell'Università del Minnesota a Minneapolis, insieme al suo team, ha usato un modello animale, roditori che sviluppavano il carcinoma polmonare di Lewis. L'uso cronico di morfina sui topi ha ridotto i livelli di angiogenesi tumorale, e questa riduzione è apparsa dipendente dal recettore per gli oppioidi (la morfina è appunto una sostanza oppiacea). La scienziata inoltre ha osservato che l'effetto era mediato dai segnali fisiologici indotti da basse concentrazioni di ossigeno (ipossia), che portano alla riduzione di una serie di fattori che favoriscono l'angiogenesi. «La morfina è un potenziale inibitore della crescita dei tumori, attraverso la soppressione dell'angiogenesi indotta dalle cellule tumorali e attraverso l'attivazione delle p38 MAPK (una classe di proteine che l'organismo produce in risposta a vari tipi di stress) da parte degli HIF-1 (fattori di trascrizione messi in moto negli stati di ipossia)», hanno scritto gli autori nell'articolo.

Questi risultati non solo legittimano ulteriormente l'impiego della morfina nel trattamento del dolore cronico causato dal cancro, ma aprono nuove vie per le terapie antitumorali: impedire la crescita di vasi sanguigni è infatti un modo per «soffocare» le formazioni neoplastiche.

**Federica Sgorbissa**

STRATEGIA ANTITUMORI. La recente scoperta della capacità della morfina (*nella foto, semi di papavero, da cui la morfina viene isolata*) di impedire la crescita di nuovi vasi sanguigni apre importanti prospettive per la terapia dei tumori.

e forse anche di malattie come la sclerosi multipla. Per questo l'anno scorso è stato lanciato un progetto per sequenziare il genoma di tutti i batteri che popolano l'organismo umano.

Studi precedenti avevano rivelato che i batteri dell'intestino dei gemelli hanno DNA simili fra loro, e diversi da quelli di individui non imparentati. Nel nuovo lavoro i ricercatori hanno invece campionato i virus, analizzando le feci di quattro coppie di gemelle e delle loro madri. Per tre volte nell'arco di un anno ne hanno estratto i virus e hanno sequenziato il loro DNA, verificando che, al contrario dei batteri, i virus avevano genomi differenti. La differenza è del tutto scollegata con il livello di prossimità genetica degli organismi che li ospitano. Inoltre, nell'arco dell'anno di misure, i cambiamenti nel DNA dei virus di ciascun individuo sono stati inferiori al 5 per cento.

Lo studio ha identificato centinaia di tipi virali, in buona parte sconosciuti. La stabilità del loro DNA suggerisce anche che, nell'intestino, la convivenza fra virus e batteri è relativamente pacifica. In genere, la competizione fra questi microrganismi determina rapide mutazioni nei loro genomi, per selezione naturale, ma nell'intestino sembra che la cooperazione prevalga sul conflitto. I ricercatori pensano che l'analisi del genoma dei virus completerà l'informazione fornita dal DNA dei batteri.

**Michele Catanzaro**

Zbynek Burival/iStockphoto (*papaveri*); Island Effects/iStockphoto (*alghe*)

## COSÌ I MICROBI INFLUENZANO IL CLIMA

Una nuova ricerca pubblicata su «Science» rivela aspetti inediti della biologia dei microrganismi marini. A quanto pare, non solo mostrano analogie con il comportamento alimentare di animali come gli uccelli marini, ma possono anche alterare le proprietà chimiche del mare e, in ultima istanza, agire sul clima globale, influenzando la formazione delle nubi in atmosfera.

«Abbiamo scoperto che le interazioni ecologiche e le risposte comportamentali che hanno luogo in una goccia d'acqua di mare – spiega Justin Seymour, ricercatore del Politecnico di Sydney e principale autore dello studio – possono finire per influenzare cicli chimici vitali per gli oceani». Il dimetilsolfuro (DMS) è un composto chimico maleodorante che gli uccelli marini e le foche sfruttano per individuare la preda. Il dimetilsolfoniopropionato (DMSP), suo parente, può avere un ruolo simile su scala microbica, aiutando i microrganismi marini a trovare cibo e sostanze coinvolte nei cicli dello zolfo e del carbonio, importanti per il clima globale.

Lo studio, condotto nel laboratorio di Roman Stocker al Massachusetts Institute of Technology, ha sperimentato per la prima volta l'uso della microfluidica e della videomicroscopia nello studio dei microrganismi oceanici. Il team ha ricreato un microcosmo dell'ambiente oceanico usando un dispositivo a microfluidi, con minuscoli canali incisi

in un materiale gommoso in cui è stato iniettato il DMSP, in modo da simulare lo scoppio di una cellula algale dopo un'infezione virale, un evento comune in mare. Poi, grazie a una telecamera collegata a un microscopio, ha registrato per la prima volta il comportamento dei microbi marini in presenza di DMSP. Si è scoperto così che alcuni di essi, compresi i batteri, sono attratti dal DMSP perché se ne nutrono, mentre altri perché il composto segnala loro la presenza di prede.

«Ora – ha detto Stocker – possiamo vedere il comportamento dei microrganismi marini come gli ecologi hanno fatto finora con i macro-organismi». La velocità con cui i microrganismi consumano il DMSP, anziché trasformarlo in DMS, è importante perché il DMS è coinvolto nella formazione delle nubi nell'atmosfera, che a loro volta influenzano le temperature terrestri.

**Eugenio Melotti**

# ABBONATI A MENTE & CERVELLO, PERCHÉ TUTTO QUELLO CHE SEI PASSA PER LA MENTE.

**PREZZO BLOCCATO:** questo esclusivo prezzo resterà bloccato per tutta la durata del tuo abbonamento.

**NESSUN NUMERO PERSO:** se non ricevessi un numero, provvederemo a prolungarti l'abbonamento o a rispedirti la copia non ricevuta.

**CONSEGNA GRATUITA:** riceverai ogni mese Mente & Cervello direttamente a casa tua, senza costi aggiuntivi.

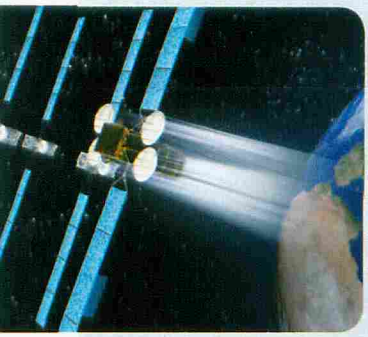
## 12 MESI CON IL 20% DI SCONTO.

Per abbonarti o regalare un abbonamento spedisci la cartolina che trovi nella rivista o vai su www.ilmioabbonamento.it oppure telefona al numero 199 700 721* (02-39633433 da Milano o da cellulari).

*Costo massimo della telefonata da rete fissa 14,26 cent/EUR al min + 6,19 cent/EUR alla risposta (IVA incl.)

12 numeri a soli
€57
anziché €72
sconto del
20%

## Banda larga dallo spazio



Secondo le stime, il 12 per cento della popolazione italiana è privo di accesso alla banda larga, perché non è raggiunto né dalle fibre ottiche né dall'ADSL. La soluzione potrebbe ora arrivare grazie a una nuova generazione di satelliti di potenza senza precedenti, detti High Throughput Satellites (HTS), il primo dei quali, battezzato KA-Sat, sarà lanciato nei prossimi mesi e coprirà l'intera area del Mediterraneo. Realizzato da Eutelsat con il contributo industriale di EADS Astrium, il satellite sfrutta una tecnologia che consente di inviare più fasci piccoli, mirati su specifiche zone, anziché uno solo grande su una vasta area. Gli 82 fasci, o spot, di KA-Sat consentiranno di offrire servizi a banda larga a velocità e costi paragonabili a quelli dell'ADSL, promettono i responsabili di Eutelsat, che da questo satellite si aspettano una rivoluzione del mercato. In Europa, spiegano, sono 30 milioni le famiglie non raggiunte dalla banda larga, un *digital divide* che ora i satelliti sono in grado di colmare. **(CDiG)**

## Patente a punti: serve, ma non per molto

L'introduzione nel 2006 delle penalità a punti sulla patente di guida in Spagna (riforma poi introdotta anche da altri paesi come Italia, Irlanda e Austria) ha ridotto significativamente il numero di morti per incidente stradale. Peccato però che secondo gli esperti l'effetto deterrente sia durato solo un paio d'anni.

José Ignacio Castillo Manzano, dell'Università di Siviglia, e colleghi hanno osservato che la riduzione di incidenti fatali sulle autostrade è stata del 12,6 per cento, ma questa percentuale è rapidamente calata dopo i primi due anni. Gli autori ritengono che inizialmente la norma abbia tratto vantaggio dalla grande eco ottenuta sui media, ma che, una volta calata l'attenzione, il numero di incidenti sia tornato ad aumentare.

Ben diverso l'effetto di altre norme, come l'introduzione dagli anni novanta delle cinture di sicurezza obbligatorie, anche questa studiata da Castillo Manzano nell'articolo pubblicato sulla rivista «Accident Analysis & Prevention»: in quindici anni l'effetto positivo (12-13 per cento di morti in meno in autostrada) non è mai diminuito, dimostrando che quando si tratta di proteggere stabilmente chi viaggia in auto la qualità dei provvedimenti va valutata con attenzione. **(FeSg)**

## Fisica delle rughe

Uno studio pubblicato su «Physical Review Letters» da ricercatori dell'Università del Massachusetts ha simulato con plastica umida la formazione di rughe nei tessuti biologici. Nel lavoro, i ricercatori hanno disposto una pellicola di polistirene sull'acqua. Quindi l'hanno compressa leggermente lungo un lato, in modo da formare ondulazioni.

Le forze in gioco sono la gravità, la resistenza del tessuto e la tensione superficiale. La prima promuove la formazione di rughe fitte ma poco profonde; la seconda promuove ondulazioni meno frequenti ma più marcate. La terza, infine, favorisce il mantenimento di una superficie piatta.

L'esperimento ha permesso di quantificare il ruolo di queste forze e di osservare la formazione di diversi tipi di rughe sul bordo e al centro della pellicola. Ora gli autori sperano di poter applicare queste conclusioni ai tessuti biologici o ai difetti nella fabbricazione industriale di pellicole. **(MiCa)**

## Voyager: dodicimila di questi giorni

Sono 33 anni che continuano ad allontanarsi dalla Terra, per un totale di 12.000 giorni, ma restano sempre in contatto con noi. Sono le sonde Voyager 1 e 2, lanciate rispettivamente il 5 settembre e il 20 agosto 1977. Le due sonde si sono prima avvicinate a Giove e Saturno, per dirigersi poi verso l'esterno del sistema solare, ma Voyager 2 ha seguito una rotta più lunga, sfiorando anche Urano e Nettuno.

Il record dei 12.000 giorni di funzionamento continuo è stato raggiunto da Voyager 2 il 30 giugno, il 16 luglio dalla sua gemella. Nel giorno del record, Voyager 2 si trovava a 14 miliardi di chilometri dal Sole, Voyager 1 a 17 miliardi di chilometri, l'artefatto umano arrivato più lontano dalla Terra.

Ora le due sonde stanno attraversando la zona di terminazione, dove il vento solare incontra il flusso di particelle galattiche, e fra pochi anni dovrebbero superare l'eliopausa, dove il vento galattico blocca quello solare, determinandone la distanza. Anche se le pile al plutonio forniscono ormai solo metà della potenza iniziale, a bordo delle sonde tutto funziona bene, tanto che gli scienziati del JPL di Pasadena sperano di poterle seguire almeno fino al 2020, nel primo tratto del loro lungo viaggio interstellare. **(AlSa)**

Cortesia Eutelsat (*satellite*); NASA/JPL (*Voyager*); Vitaly Titov/iStockphoto (*cane*)

## Un altro modello per i lampi di raggi gamma

Un gruppo di astronomi guidato da Tetsuya Hashimoto, dell'Università di Kyoto, ha osservato un lampo di raggi gamma (GRB, *gamma-ray burst*) otticamente scuro in una galassia ad alta metallicità, ovvero in un ambiente ricco di elementi più pesanti dell'elio. Questa osservazione contraddice l'ipotesi più accreditata secondo cui i GRB si verificano in ambienti a bassa metallicità.

Il GRB in questione, apparso il 25 marzo 2008, osservato nel vicino infrarosso con il telescopio Subaru, ad Hawaii, si è rivelato molto meno luminoso di quanto previsto dai modelli teorici. Hashimoto, che ha descritto la ricerca su «Astrophysical Journal», ha quindi ipotizzato che si fosse verificato in un ambiente ad alta metallicità, ricco di polveri in grado di ridurre la luminosità ottica e infrarossa dell'*afterglow* del GRB, il bagliore residuo che si osserva dopo il lampo gamma.

Per verificare l'ipotesi, un anno dopo si è tornati a osservare nell'ottico la galassia ospite, scoprendo che la sua massa è una delle più alte osservate fra quelle che hanno ospitato un GRB e deducendone una metallicità molto elevata. Torna così in auge un modello di GRB basato non sull'esplosione di supernova di una stella, ma causato dalla fusione di un sistema binario stretto. **(EmRi)**

## Il branco perfetto

La caccia in gruppo è una strategia diffusa in natura. Ma anche le prede si uniscono in gruppo: è il caso dei piccoli pesci che si aggregano per sembrare un pesce grande agli occhi dei predatori. Un modello pubblicato sul «New Journal of Physics» ha fatto un primo passo per definire i principi che governano questo comportamento.

Lo studio, realizzato da ricercatori dell'Università di Tokyo, si basa su una simulazione in cui due gruppi di particelle si muovono su una superficie: i «predatori», capaci di sentire la presenza di una preda a una certa distanza e dirigersi verso di essa, e le «prede», che tendono ad allontanarsi quando sono attaccate. Ne è risultato che, quando predatori sono troppi (decine di volte più delle prede), la caccia non ha successo perché cominciano a ostacolarsi fra loro. Secondo i ricercatori, lo studio si potrebbe applicare agli inseguimenti di polizia o alla programmazione di robot militari. **(MiCa)**

## La Terra è più giovane

La Terra è più giovane di quanto si pensasse, di ben 70 milioni di anni. Secondo uno studio apparso su «Nature Geoscience» il nostro pianeta si sarebbe formato 4467 miliardi di anni fa, invece di 4537. Ricercatori dell'Università di Cambridge hanno analizzato il processo di formazione del disco di accrescimento, il materiale rotante di polveri e gas che aggregandosi ha dato origine al pianeta. Gli scienziati hanno confrontato gli isotopi

nel mantello terrestre con quelli trovati nei meteoriti che dovrebbero corrispondere al materiale del nucleo della Terra. Considerando i tempi di decadimento degli isotopi e usando complessi modelli computerizzati, i ricercatori sono riusciti a determinare il tempo impiegato dalla Terra per formarsi. «Probabilmente il processo di formazione della Terra non è avvenuto in maniera stabile e costante come si riteneva – spiegano – ma avrebbe avuto una fase di accelerazione, durante la quale si sono aggregati circa due terzi dell'attuale massa terrestre, seguita da un lungo periodo di lento accrescimento». **(StPi)**

## CHE FINE FARÀ QUEL PETROLIO?

Il 15 luglio, 87 giorni dopo l'esplosione della piattaforma Deepwater Horizon, la British Petroleum ha annunciato di aver bloccato la fuoriuscita di petrolio dal pozzo a 1500 metri di profondità nel Golfo del Messico. Ma non è finita qui.

Buona parte delle circa 700.000 tonnellate di greggio fuoriuscite non è arrivata sulla costa, ma è entrata nella corrente ad anello che percorre il Golfo del Messico, iniziando un lungo viaggio. L'oceanografo Fabian Schloesser e i suoi colleghi dell'Università di Hawaii hanno effettuato una simulazione computerizzata del movimento di 8 milioni di particelle galleggianti, rilasciate nel punto della fuoriuscita di greggio, simulazione che mostra come, a un anno dall'incidente, il 20 per cento del petrolio dovrebbe essersi spostato nell'Atlantico.

Doppiata la Florida a ottobre, il greggio dovrebbe risalire le coste orientali degli Stati Uniti fino all'altezza di Capo Hatteras, da dove verrebbe spinto dai venti verso l'Europa, di cui toccherebbe le coste alla fine della primavera del 2011. Ma il pericolo di inquinamento è scarso; a parte l'enorme diluizione, per allora gran parte del petrolio sarà precipitata come catrame, evaporata o digerita dai microrganismi. **(AlSa)**

Dave Martin/AP Photo/La Presse (*petrolio*); Prill Mediendesign & Fotografie/iStockphoto (*lupi*);

# Virus
# il nemico invisibile

I virus sono forme di vita relativamente semplici, che tuttavia sono state in grado di sviluppare complesse strategie di difesa, che consentono loro di sopravvivere e soprattutto diffondersi. Sono anche fra i grandi motori dell'evoluzione: i pezzi di DNA e di RNA che trasportano entrando e uscendo dalle cellule lasciano tracce durature in quasi ogni genoma. Parassiti per necessità, dal momento che per sopravvivere devono moltiplicarsi all'interno di cellule viventi, i virus sono fra le entità biologiche più frequenti del pianeta: con circa 5000 tipi conosciuti e miliardi ancora senza scheda segnaletica, abbondano in quasi ogni ecosistema terrestre.

Eppure una sola di queste entità ancora misteriose, frammenti di materiale genetico che vogliono a tutti costi vivere, può destabilizzare il pianeta, come stava per accadere non più tardi di un anno fa, quando il virus dell'influenza A ha gettato nel panico le società occidentali. Nel corso dell'evoluzione questi esseri microscopici hanno sviluppato metodi di attacco e di proliferazione grazie ai quali penetrano nelle cellule dell'organismo, aggirandone i sistemi di difesa. E i danni che provocano non si limitano alle malattie umane: ogni anno, soprattutto nel sud del mondo, i virus determinano immense perdite nella produzione agricola e imponenti carestie, a causa delle infezioni delle piante.

I virus sono dunque una potente e costante minaccia per l'uomo, gli animali e le piante. Una minaccia di cui fino a oggi la società non si è occupata a sufficienza, anche se non c'è dubbio che i virus si possano annoverare tra le maggiori cause di malattia e morte, ora come in passato. A questo «nemico invisibile» è dedicata la VI Conferenza mondiale sul Futuro della scienza (*The Future of Science*), in programma a Venezia dal 19 al 21 settembre e organizzata dalla Fondazione Umberto Veronesi, dalla Fondazione Silvio Tronchetti Provera e dalla Fondazione Giorgio Cini, in collaborazione con l'Associazione italiana per la ricerca sul cancro.

Relatori di fama internazionale, provenienti da vari ambiti disciplinari, si confronteranno sull'origine ancora misteriosa dei virus, sui loro meccanismi di sviluppo e mutazione e sul loro ruolo nell'evoluzione del pianeta. Affronteranno il tema dell'insorgenza dei nuovi virus, della prevenzione delle pandemie e dei modi in cui affrontare gravi patologie virali, come l'AIDS. Nella sessione organizzata dall'Associazione italiana per la ricerca sul cancro, si parlerà anche del ruolo dei virus nell'insorgenza dei tumori e dei cosiddetti «virus buoni», usati nello sviluppo di terapie genetiche e antitumorali.

**L'AUTORE**

CHIARA TONELLI è professore di genetica all'Università degli Studi di Milano e segretario generale di *The Future of Science 2010*.

44
**Virus in viaggio per l'Italia**
di Giuseppe Ippolito e Francesco Maria Fusco

52
**L'imprevedibilità prevista**
di Isabella Monne e Ilaria Capua

## In occasione della Conferenza mondiale organizzata a Venezia dal 19 al 21 settembre e dedicata ai virus, facciamo il punto sulla minaccia che rappresentano per l'uomo

di Chiara Tonelli

Roger Harris/SPL/Contrasto

La conferenza lancia un messaggio forte e diretto alla società: i virus hanno un potente impatto economico, politico e sociale, ma la scienza e la tecnologia sono sempre più in grado di contenerne la minaccia e i danni, sviluppando nuovi vaccini preventivi e terapie mirate, basate sulle conoscenze più avanzate di biologia molecolare. In questo dossier che «Le Scienze» dedica ai virus sono pubblicati articoli firmati da alcuni relatori della conferenza di Venezia. Ecco i loro nomi e i loro contributi.

Giuseppe Ippolito, direttore scientifico dell'Istituto nazionale per le malattie infettive «Lazzaro Spallanzani» di Roma, e Francesco Maria Fusco, medico presso lo stesso istituto e coordinatore dell'European Network for Highly Infectious Deseases, tracciano una rassegna dei nuovi virus in arrivo in Italia, analizzando la loro presumibile espansione e l'epidemiologia prevedibile.

Ilaria Capua, direttrice del Dipartimento di virologia dell'Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie (IZSV) con sede a Legnaro, in provincia di Padova, scopritrice del virus dell'aviaria e coordinatore a livello mondiale dei laboratori della World Organisation for Animal Health (FAO-OIE) della FAO per le ricerche sull'influenza aviaria, e Isabella Monne, del Centro di referenza nazionale FAO-OIE per l'influenza aviaria dell'IZSV, sono autrici di un articolo sulle pandemie influenzali: dalla pandemia di influenza A alle potenziali pandemie future di virus più aggressivi e letali.

Alberto Mantovani, immunologo, direttore scientifico dell'Istituto clinico «Humanitas» di Rozzano, in provincia di Milano, e fra i maggiori conoscitori dell'immunità innata e dell'infiammazione, è autore di un articolo su virus e immunità.

Rino Rappuoli, direttore scientifico di Novartis Vaccines di Siena e vaccinologo di fama mondiale (il «suo» vaccino contro il virus dell'influenza è fra i più avanzati e diffusi al mondo), e Lisa Vozza, ***scientific officer*** **dell'Associazione italiana per la ricerca sul cancro,** sono autori di un articolo in cui fanno una panoramica sui vaccini del XXI secolo.

Infine il rapporto tra virus e cancro, con un articolo di Luigi Chieco Bianchi, insigne oncologo esperto di immunologia e virologia dei tumori, e Lisa Vozza. ■


**58**
**Virus e immunità**
di Alberto Mantovani

**62**
**Il nuovo secolo dei vaccini**
di Rino Rappuoli e Lisa Vozza

**66**
**Quando i virus inducono il cancro**
di Lisa Vozza e Luigi Chieco-Bianchi

# Virus in viaggio

di Giuseppe Ippolito e Francesco Maria Fusco

**IN SINTESI**

- Diversi meccanismi contribuiscono alla comparsa di malattie nuove e di malattie dimenticate su scala globale. E l'Italia non è estranea a fenomeni di questo tipo.
- In particolare, nel nostro paese sono sempre più frequenti malattie di importazione, come malaria e dengue, mentre malattie emergenti come quelle provocate dal virus Chikungunya e dal West Nile virus hanno già causato epidemie.
- Le malattie emergenti e riemergenti pongono problemi nuovi, quindi per tutelare la salute pubblica è necessario un nuovo approccio in cui le risposte siano complesse e frutto di interazione e integrazione tra discipline diverse.

La breve storia di una piccola ma significativa epidemia ci fa capire ciò che sta accadendo tutti i giorni, sotto i nostri occhi. Negli anni ottanta e novanta, era stata importata in Italia dagli Stati Uniti una grande quantità di copertoni usati. In questo modo erano arrivate numerose uova di zanzare del genere *Aedes*, precedentemente importate in Nord America dall'Asia. Le *Aedes* si erano impiantate in tutta Italia, diventando la specie prevalente in numerose aree.

Anni dopo, nel giugno 2007, un immigrato indiano residente in provincia di Ravenna si era recato nel paese d'origine per visitare i parenti. Nel frattempo un virus di origine africana, chikungunya, partito dalle coste orientali dell'Africa nel 2004, aveva attraversato, isola dopo isola, l'Oceano Indiano, sempre grazie a scambi commerciali e flussi migratori, e stava causando una vasta epidemia in India, sostenuta da zanzare del genere *Aedes*. L'immigrato indiano ha contratto la malattia, ed è tornato in Italia durante il periodo di incubazione.

Questa lunga serie di eventi, indipendenti e lontani tra loro nel tempo e nello spazio, ha determinato la prima significativa epidemia (247 casi) sostenuta da zanzare *Aedes* nei paesi occidentali. E l'episodio ha evidenziato che numerosi fenomeni, in recente e rapida evoluzione, possano influenzare in modo significativo l'epidemiologia e la diffusione geografica delle malattie infettive, in particolare quelle trasmesse da vettori.

Negli ultimi anni numerose malattie e infezioni emergenti e riemergenti sono balzate all'attenzione di comunità scientifica e opinione pubblica, spesso ponendo problemi nuovi e mostrando carenze e impreparazioni dei sistemi sanitari di sorveglianza e controllo. L'epidemia mondiale di SARS, per esempio, ha dimostrato che una malattia emersa in una regione cinese può diffondersi rapidamente in 33 paesi, e causare centinaia di casi anche in un paese avanzato come il Canada. Inoltre la SARS ha evidenziato che una nuova malattia altamente contagiosa può causare problemi di salute pubblica e pesare sulla situazione economica e sociale di un paese, influenzando negativamente turismo, scambi commerciali e fiducia e sicurezza dei cittadini.

Diversi fenomeni contribuiscono globalmente alla comparsa e alla diffusione di malattie nuove o dimenticate, e alcuni sono sempre più rilevanti. La globalizzazione fa viaggiare un gran numero di uomini, animali e merci da una parte all'altra del mondo in poche ore, favorendo la diffusione di microrganismi o la loro introduzione in aree indenni.

L'incremento demografico nei paesi in via di sviluppo favorisce l'urbanizzazione e la nascita di enormi periferie prive di servizi igienici e sociali, con conseguente diffusione di malattie infettive. Inoltre, l'aumento della popolazione e del benessere economico di Cina e India porta una maggiore domanda di alimenti, carne in particolare, causando un aumento notevole di allevamenti intensivi, che se non monitorati attentamente sono «punti caldi» per lo sviluppo e la mutazione rapida di nuovi patogeni, soprattutto virali.

Il riscaldamento globale favorisce la diffusione di molte malattie vettoriali, perché gli insetti vettori sono attivi per più tempo e colonizzano nuove aree geografiche. Inoltre i mutamenti ambientali prodotti dall'uomo, come la deforestazione, trasformano rapidamente alcuni ecosistemi, alterando gli equilibri tra i microrganismi e i loro ospiti. Nei paesi in via di sviluppo, disagi economici, guerre, carestie e disgregazione sociale causano il collasso dei sistemi sanitari e dei programmi di prevenzione. Le conseguenti migrazioni di massa favoriscono comparsa e diffusione di alcune malattie infettive.

È evidente che anche l'Italia non è estranea a questi fenomeni globali. Anzi, per la sua posizione geografica nel Mediterraneo e in contiguità geografica con Nord Africa, Medio Oriente e paesi balcanici è particolarmente suscettibile all'introduzione di nuovi patogeni, e particolarmente esposta agli effetti del cambiamento climatico.

In particolare, alcune malattie di importazione, come malaria e dengue, sono state sempre più frequenti negli ultimi anni, mentre altre malattie emergenti, come quelle provocate dal West Nile virus e dal virus chikungunya, hanno causato numerosi casi, e hanno già dimostrato la loro potenzialità di patologie endemiche causando epidemie nel nostro paese.

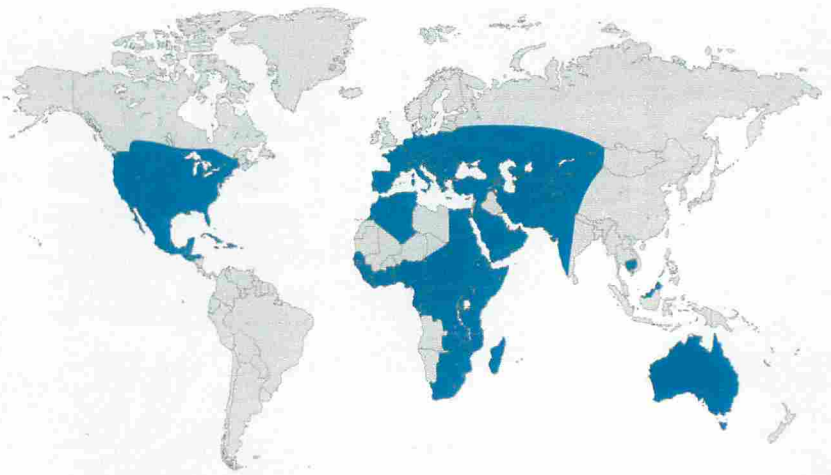
Kallista Images/Getty Images

# per l'Italia

I virus non conoscono confini, e in un mondo sempre più globalizzato trasportano malattie che per alcuni paesi, come il nostro, sono nuove o dimenticate

DOPO IL PASTO. Una femmina di zanzara *Aedes aegypti*, vettore di diverse malattie, tra cui il virus della dengue, fotografata in volo dopo essersi cibata di sangue umano.

# West Nile virus



Questo virus è un Flaviviridae del genere flavivirus, il cui nome viene dal distretto del Nilo occidentale, in Uganda, dove è stato isolato per la prima volta nel 1937. Il West Nile virus è trasmesso con la puntura di una zanzara, per lo più del genere *Culex*, sebbene anche altri generi si siano dimostrati efficaci nella trasmissione. Il serbatoio è rappresentato da alcune specie di uccelli, in cui il virus si riproduce senza causare malattia.

Circa l'80 per cento delle persone che contraggono l'infezione non sviluppa alcun sintomo, mentre la maggioranza di coloro che sviluppano sintomi mostrano solo una malattia febbrile aspecifica e transitoria, caratterizzata da mal di testa, affaticamento e occasionalmente *rash* (cioè eruzioni cutanee), linfo-adenomegalia e dolore oculare. Secondo stime recenti, in circa lo 0,7 per cento dei pazienti infettati la malattia si presenta in forma neuroinvasiva, e può manifestarsi come encefalite (nella maggior parte dei casi), meningite o mielite. Le manifestazioni neuroinvasive sono più frequenti nei soggetti anziani e immuno-compromessi.

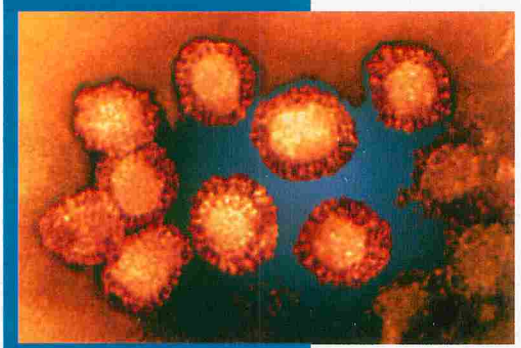
La zanzara si infetta pungendo gli uccelli in cui il virus si riproduce, ed è in grado di trasmettere il virus ad altri animali, tra cui altri uccelli, gli equini e l'uomo. Nell'uomo la malattia non produce una viremia sufficiente a sostenere una catena di trasmissione uomo-zanzara-uomo. La malattia è diffusa (*mappa, paesi in blu*) soprattutto in Africa, Medio Oriente, India e, più recentemente, negli Stati Uniti, dove il primo caso è stato registrato a New York nel 1999.

## Alla conquista del West

Nel 1999 a New York era stato osservato un aumento di casi di una patologia neuroinvasiva di origine ignota, inizialmente diagnosticati come encefalite di St. Louis. Solo dopo alcune settimane, anche grazie alla collaborazione con veterinari che stavano osservando casi di malattia ignota negli uccelli e nei cavalli, era stata diagnosticata un'infezione da West Nile virus, verosimilmente giunto negli Stati Uniti con gli uccelli migratori. Da quell'anno, i casi riportati di malattia neuroinvasiva da West Nile virus nell'uomo sono aumentati anno dopo anno, da poche centinaia fino a alcune migliaia (9000 casi nel 2003), per stabilizzarsi attualmente attorno ai 1000-3000 all'anno.

La localizzazione geografica di questi casi ha mostrato un progressivo spostamento verso ovest del virus, che anno dopo anno ha invaso territori prima indenni, fino a raggiungere le coste sull'Oceano Pacifico nel 2004 e coprire dunque l'intero territorio statunitense. Attualmente la malattia è considerata endemica negli Stati Uniti. La scoperta di alcuni casi dovuti a trasfusioni di sangue e a trapianti d'organo ha posto nuovi problemi di diagnostica e di sanità pubblica, e ha richiesto strategie di controllo e sorveglianza del tutto nuove.

## LA SCHEDA



- Non c'è una cura specifica per l'infezione da West Nile virus (*nella foto*). In genere il periodo di incubazione varia da 3 a 14 giorni.
- L'80 per cento delle persone infettate non mostra sintomi, mentre un soggetto su 150 sviluppa malattie gravi. Nei casi più gravi, un caso su 1000, il virus può causare un'encefalite letale.
- La fascia di popolazione più a rischio di sviluppare una malattia grave dopo l'infezione da West Nile virus è quella con più di cinquant'anni.

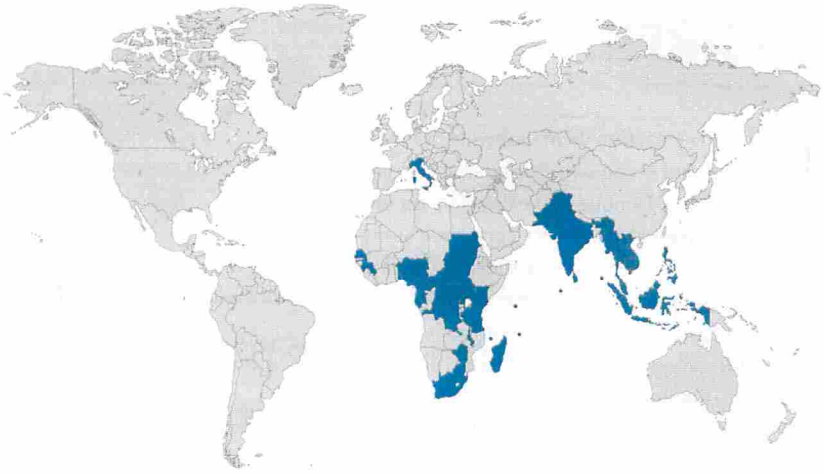
## Zanzare del nostro mondo

In Italia, il West Nile virus è stato isolato per la prima volta nel 1998 in Toscana, negli equini. Ed è balzato di nuovo agli onori della cronaca dieci anni dopo, quando una nuova epidemia nei cavalli è stata individuata in Veneto ed Emilia-Romagna. I primi casi nell'uomo, due in totale, di encefalite da West Nile virus sono stati diagnosticati nel 2008. L'anno successivo, la sorveglianza attiva e passiva dei casi di encefalite ha consentito di individuare 16 casi, con tre decessi, in tre regioni: Veneto, Emilia-Romagna e Lombardia. Attualmente la sorveglianza si rivolge soprattutto alla forma neuroinvasiva della patologia, e non è applicata in modo esteso alle regioni finora non interessate dall'epidemia.

Non è quindi possibile stabilire, almeno per il momento, la prevalenza delle altre forme cliniche causate dal West Nile virus, né stimarne la reale estensione geografica in Italia. È però certo che nel nostro paese ci sono tutte le condizioni ecologiche per cui la patologia diventi endemica, ovvero la presenza di un adeguato serbatoio, rappresentato da uccelli selvatici e domestici, e di un abbondante ed efficace vettore, la zanzara *Culex pipiens*.

Linda Stannard, Università di Città del Capo/SPL/Contrasto (*West Nile virus*); mappa adattata da: Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta

# Febbre da virus chikungunya



Il virus chikungunya è un alphavirus appartenente alla famiglia dei Togaviridae che si trasmette all'uomo con il morso di un insetto vettore. I vettori più frequenti sono le zanzare del genere *Aedes*, e sia *A. albopictus* sia *A. aegypti* si sono dimostrati vettori efficienti.

Isolato per la prima volta in Tanzania nel 1953, il virus chikungunya, pur avendo causato alcuni casi sporadici e piccole epidemie in Africa e Sudest asiatico, ha destato scarso interesse nella comunità scientifica fino al 2004. In quell'anno sulle coste dell'Africa orientale si verificata un'epidemia di febbre da virus chikungunya, e nei due anni successivi la malattia si è diffusa a tutte le isole e ai territori dell'Oceano Indiano (*nella mappa, in blu i paesi dove il virus è attualmente presente*).

La malattia si manifesta con febbre, spesso alta all'esordio, accompagnata da rash nel 50 per cento dei casi. Il sintomo più caratteristico sono forti artralgie migranti che interessano tutte le articolazioni. Tutte le manifestazioni si risolvono spontaneamente in 5-7 giorni, tranne le artralgie, che in alcuni casi possono persistere per molto tempo, anche per mesi.

## L'epidemia 2005-2007

Come già accennato, negli ultimi mesi del 2004 un'epidemia di febbre da virus chikungunya ha avuto inizio in Africa orientale, in particolare dalle coste del Kenya. Nei tre anni successivi la malattia si è diffusa alle isole dell'Oceano Indiano occidentale, e nei paesi del versante orientale.

In India, in particolare, la malattia ha causato un'ondata epidemica senza precedenti, con milioni di casi in pochi mesi. In molti luoghi il tasso di attacco dell'ondata epidemica verificatasi tra 2005 e 2007 è stato eccezionalmente alto. Nell'isola di La Réunion, 420 chilometri a est del Madagascar, dove sono state condotte indagini epidemiologiche accurate, il virus ha causato in pochi mesi 270.000 casi, colpendo circa il 33 per cento della popolazione. In alcune zone dell'India è stato stimato un tasso di contagio del 45 per cento.

In molti paesi occidentali, soprattutto nel sud della Francia sono stati registrati numerosi casi di importazione sia da immigrati sia da turisti di ritorno a casa. Come già scritto, nell'estate 2007 in Emilia-Romagna si è sviluppata un'epidemia locale di febbre da virus chikungunya legata all'arrivo dall'India di un soggetto malato. Questo episodio ha fornito il primo esempio in Europa di epidemia sostenuta da una popolazione locale di zanzare *Aedes*. L'epidemia emiliano-romagnola ha causato 247 casi, e in almeno un caso l'infezione da virus chikungunya ha contribuito al decesso di un paziente anziano.

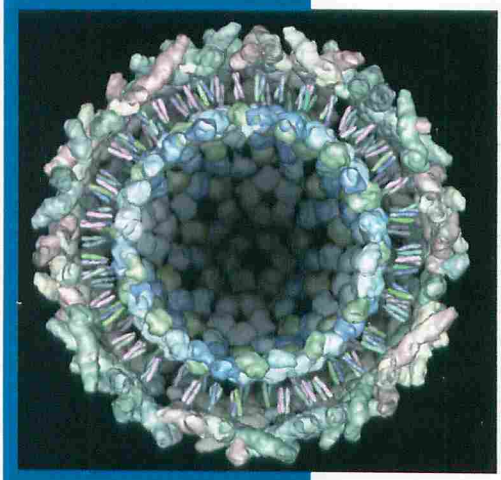
## Fattori epidemiologici

Alla comparsa di questa epidemia hanno contribuito diversi fattori. Una mutazione nel genoma virale ha determinato la comparsa di un ceppo di virus con minori esigenze metaboliche e più patogeno per l'uomo. Un altro fattore determinante è stata l'ampia diffusione geografica raggiunta dalle zanzare del genere *Aedes*. La zanzara tigre *Aedes albopictus*, in particolare, negli ultimi anni si è adattata a un ambiente domestico e peri-domestico, invadendo di conseguenza l'ambiente sia urbano sia sub-urbano.

La mortalità direttamente collegata alla malattia causata dal virus chikungunya è estremamente bassa. Ma osservazioni epidemiologiche nelle aree colpite durante l'epidemia 2005-2007 hanno mostrato, nei periodi epidemici, un incremento sostanziale della mortalità rilevata rispetto alla mortalità attesa.

In base a queste osservazioni, 237 decessi a La Réunion possono essere attribuiti, direttamente o indirettamente, a febbre causata dal virus chikungunya. Secondo le stime più accreditate, i decessi in India causati dal virus sono stati circa 6500, ma alcuni autori stimano fino a circa 20.000 morti dovuti a questa pericolosa malattia.

## LA SCHEDA



- La malattia da Chikungunya (*nell'immagine, il virus patogeno*) ha un periodo di incubazione da 4 a 8 giorni, ma può essere anche della durata di due soli giorni o estendersi fino a 12.
- Non esistono cure, e i trattamenti si concentrano sui sintomi. I decessi sono rari, e sembrano legati all'età avanzata dei pazienti.
- Chikungunya e dengue hanno in comune alcuni segni clinici, quindi nelle aree dove la dengue è endemica c'è il rischio di una diagnosi sbagliata.

UCSF Chimera/SPL/Contrasto (*virus Chikungunya*); mappa adattata da: Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta

# Malaria

La malaria è causata da un parassita, il *Plasmodium*, di cui si conoscono cinque specie patogene per l'uomo. Dunque non è dovuta a un virus, tuttavia rappresenta una vera catastrofe sanitaria nei paesi dove è endemica e si discute della sua eventuale espansione in altre aree, quindi è importante dedicarle attenzione. Ogni anno la malaria causa 300 milioni di casi e un milione di vittime, soprattutto bambini con meno di cinque anni di età e donne in gravidanza, ed è endemica su un'area abitata da più di tre miliardi di persone (*mappa*).

I sintomi variano in funzione del tipo di plasmodio e dello stato immunitario del soggetto. In genere la malaria è classificata come «non complicata» e «grave». Gli adulti che vivono in aree endemiche sviluppano uno stato di semi-immunità, e mostrano soprattutto sintomi della malaria non complicata. I soggetti che più di frequente sviluppano la forma grave nelle aree endemiche sono bambini di meno di due anni e donne gravide. La malaria grave può essere caratterizzata da svariate manifestazioni a carico di diversi organi, e se non è trattata efficacemente è una delle più frequenti cause di morte nei paesi in via di sviluppo.

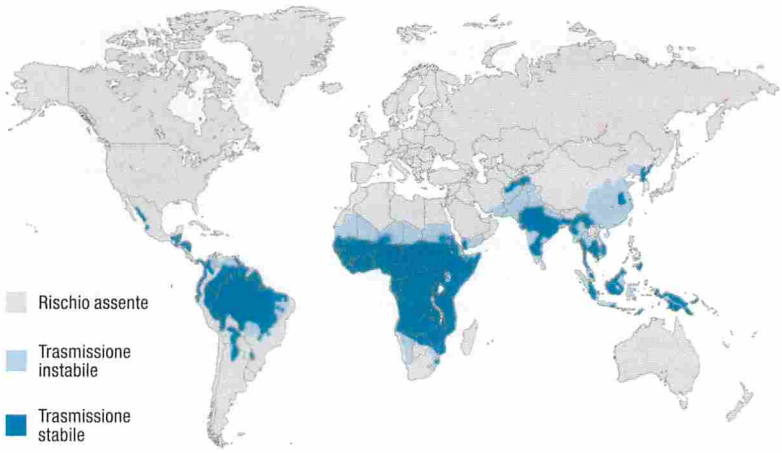
Nei viaggiatori, la forma non complicata è la più frequente. In uno studio condotto in Italia solo l'11 per cento di 507 casi di malaria d'importazione ha sviluppato una forma grave, con una mortalità totale del 2,2 per cento (18 per cento tra i pazienti con malaria grave).

## Cenni epidemiologici

Secondo alcune stime del 2005, se l'incidenza della malaria manterrà l'attuale tendenza, raddoppierà nei prossimi vent'anni. Questo andamento è dovuto a numerosi fattori. Come per altre malattie vettoriali, i cambiamenti climatici contribuiscono alla diffusione, ma il fattore principale è il plasmodio, in grado di diventare rapidamente resistente ai farmaci, soprattutto se usati in monoterapia.

L'Organizzazione mondiale della Sanità raccomanda terapie con artemisina, ma spesso con formulazioni troppo costose per i paesi in via di sviluppo. Anche la diffusione di vettori resistenti agli insetticidi e l'epidemia di HIV/AIDS, che assorbe quasi tutte le risorse sanitarie di alcuni paesi, contribuiscono ad aumentare l'impatto della malaria.

Nei paesi occidentali, la malaria è la prima causa di febbre in viaggiatori di ritorno dai tropici, e l'Italia non fa eccezione. In media in Italia sono diagnosticati circa 1000 casi all'anno. Il numero è aumentato rispetto agli anni novanta: a questo aumento contribuiscono, oltre a un maggior numero di viaggiatori, soprattutto gli immigrati che saltuariamente tornano nei propri paesi d'origine. Dopo aver trascorso anni in Italia, i soggetti provenienti da zone endemiche perdono la semi-immunità acquisita nel paese d'origine: ritenendosi a basso rischio, al ritorno in Italia non fanno profilassi e contraggono la malattia.




## LA SCHEDA

- I parassiti del genere *Plasmodium* che causano la malaria infettano prima le cellule del fegato e poi quelle del sangue (*nella foto, un globulo rosso infettato da un patogeno*). In genere la malaria ha un tempo di incubazione tra 10 e 15 giorni.
- Oltre a terapie a base di artemisina, sono disponibili strategie di prevenzione che prevedono l'uso di farmaci, insetticidi spruzzati all'interno delle abitazioni e reti antizanzara con insetticida, in modo da contrastare i vettori del patogeno, le zanzare del genere *Anopheles*.

## Rischi futuri in Italia

Da noi la malaria è stata eradicata negli anni sessanta. Da alcuni anni però si discute della sua reintroduzione. Numerosi studi hanno individuato la presenza radicata sul territorio di vettori come le zanzare del genere *Anopheles*. In particolare *A. labranchiae* sembra presente in gran numero lungo il Tirreno, dall'alto Lazio alla Liguria, e sembrerebbe molto diffusa in alcune aree semi-paludose del sud della Francia, in particolare nella Camargue. Rari casi di malaria trasmessi da zanzare autoctone sono stati segnalati in Germania, Grecia, Spagna, Francia e Italia, in particolare in Toscana.

È possibile che in Italia si individuino altri casi autoctoni, dovuti a zanzare locali che in precedenza abbiano punto un portatore proveniente da aree endemiche. Ma è improbabile che la malaria diventi endemica. I serbatoi di plasmodio sono gli esseri umani infetti, numerosi nei paesi ad alta endemia, che alimentano il ciclo di trasmissione uomo-zanzara-uomo. In Italia, l'attuale numero di casi importati e la loro distribuzione durante l'anno e sul territorio nazionale, fa sì che difficilmente si possano creare le condizioni per un'epidemia locale.

David Ferguson/ISM/Phototake (*globulo rosso infetto*); fonte dati per mappa: Centers for Disease Control e *The international limits and population at risk of Plasmodium vivax transmission in 2009*, di C.A. Guerra e altri, in «PLoS Neglected Tropical Diseases», Vol. 4, n. 8, p. e774, 2010

# Febbre da virus dengue

La dengue è una malattia causata da quattro differenti virus, molto simili, appartenenti alla famiglia dei Flavivirus. È trasmessa da zanzare del genere *Aedes*, soprattutto *Aedes aegypti*, ed è endemica (*in blu, nella mappa*) in tutti i paesi tropicali, dove ogni anno si registrano circa 50 milioni di casi.

Nella grande maggioranza dei casi, la dengue si presenta come una malattia febbrile di lieve entità, accompagnata da artralgie e talvolta nausea, vomito e rash, che si risolve spontaneamente in pochi giorni. In circa l'uno per cento dei casi si registrano sintomi più gravi: dolori addominali, vomito persistente, edemi, sonnolenza e lievi emorragie. In rari casi la malattia può causare gravi sindromi con shock, distress respiratorio, consistenti emorragie, e danni ad alcuni organi.

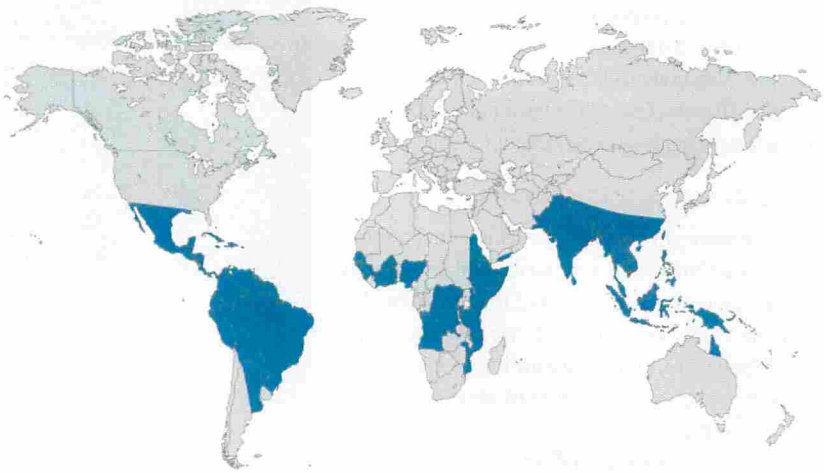
## Dove si trova

Uno dei fenomeni più evidenti degli ultimi anni è il costante aumento di attività del virus della dengue, soprattutto nel Sudest asiatico e in America Latina. Solo a titolo di esempio, in Brasile tra il 2006 e il 2007 sono stati segnalati 300.000-400.000 casi (e circa 100 decessi all'anno), facendo registrare un aumento del 300 per cento circa rispetto agli anni precedenti.

Anche in Asia la diffusione e l'attività del virus della dengue sono in continuo aumento, e in numerosi paesi sono state segnalate epidemie. Inoltre, in alcune isole del Pacifico il virus della dengue è stato reintrodotto di recente, dopo che per decenni questi luoghi erano stati liberi dalla malattia. Infine, la malattia è endemica in molti paesi africani, dove da decine di anni ormai causa epidemie stagionali.

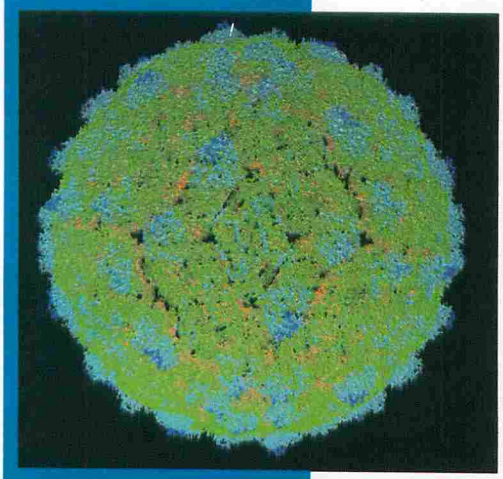
La diffusione e l'aumento di attività delle zanzare del genere *Aedes* sono i due principali fattori che favoriscono la riemersione del virus della dengue. Inoltre il maggiore movimento di uomini e merci favorisce l'introduzione del virus in aree nuove, come le isole del Pacifico. Infine, negli ultimi dieci anni soprattutto in America Latina molti governi per ragioni economiche hanno sospeso o ridotto gli interventi di lotta al vettore, favorendo ulteriormente l'introduzione e la diffusione delle zanzare del genere *Aedes*.

Negli ultimi anni la diagnosi di dengue è diventata sempre più frequente tra i viaggiatori con febbre di ritorno dalle aree tropicali. In molte statistiche pubblicate di recente, il virus della dengue rappresenta la seconda causa di febbre – la prima è la malaria – nei pazienti di ritorno da aree endemiche, e la prima causa nei pazienti che ritornano da alcune regioni di Asia e America Latina.



Scott Camazine/Phototake (*virus dengue*); mappa adattata da: Organizzazione mondiale della Sanità

## LA SCHEDA



- Negli ultimi decenni l'incidenza globale della dengue (*nell'immagine, uno dei virus responsabili della malattia*) è cresciuta in modo notevole. E circa 2,5 miliardi di persone sono a rischio.
- Secondo l'Organizzazione mondiale della Sanità ogni anno ci sarebbero 50 milioni di nuove infezioni da dengue.
- Non c'è un trattamento specifico per la dengue, che ha un tempo di incubazione di 5-6 giorni, ma trattamenti appropriati salvano la vita di pazienti con febbre emorragica da dengue.

## Epidemiologia italiana

Ogni anno in Italia sono riportate decine di casi di dengue, ma è probabile che molti altri casi non vengano diagnosticati. Spesso infatti la malattia si presenta come una sindrome simile alla sindrome caratteristica dell'influenza, che si risolve spontaneamente in pochi giorni.

Le ricerche hanno dimostrato che la zanzara della specie *Aedes aegypti* è il vettore più efficace per la trasmissione della dengue. Tuttavia anche *Aedes albopictus*, la famigerata zanzara tigre ormai molto diffusa in Italia, può trasmettere il virus in modo efficace. Di conseguenza è possibile che si verifichi una trasmissione locale dell'infezione attraverso la puntura di zanzare autoctone.

Oltre che dagli esseri umani, il serbatoio del virus della dengue è rappresentato da alcune specie di scimmie, che ovviamente non si trovano in Italia. Quindi un'epidemia nel nostro paese potrebbe verificarsi solo se un gran numero di soggetti infetti si trovasse nello stesso arco di tempo in un luogo colonizzato da zanzare che possono trasmettere il virus. Come già spiegato per la malaria, la concomitanza di questi fattori, e di conseguenza l'introduzione della malattia in Italia, è un evento estremamente improbabile.

Nelle pagine precedenti abbiamo esaminato i rischi dovuti a malattie emergenti e riemergenti causate prevalentemente da virus in un mondo sempre più globalizzato. Questo contesto pone nuovi problemi a cui è necessario trovare nuove soluzioni.

## Globali e multidisciplinari

Le persone che lavorano nel campo della salute, dai funzionari fino agli operatori dei reparti di pronto soccorso degli ospedali di provincia, devono diventare consapevoli di vivere in un mondo globalizzato, in cui nessun luogo è un'isola. Un'epidemia in corso in qualsiasi parte del mondo può attraversare il pianeta con insospettabile rapidità. I moderni strumenti di sorveglianza globale (siti web, bollettini epidemiologici, sistemi rapidi di comunicazione) e i nuovi modelli di sorveglianza, quali la sorveglianza sindromica, dovrebbero essere usati nel modo più esteso possibile.

Inoltre, come già dimostrato da numerosi eventi avvenuti in passato, è necessario sviluppare un approccio multidisciplinare. Discipline affini ma fino a oggi parallele, come biologia, medicina e veterinaria, devono integrarsi. Nella precoce individuazione e controllo di una nuova epidemia causata da una malattia emergente o riemergente c'è bisogno di competenze di salute pubblica, epidemiologia, salute animale, entomologia, logistica, diagnostica e clinica.

Uno degli elementi più importanti per individuare precocemente un'epidemia di malattia emergente oppure riemergente è porre il sospetto clinico nel paziente. È probabile che in Italia come altrove alcuni casi delle malattie descritte nelle pagine precedenti non siano stati riconosciuti, e questo può essere un rischio per la salute pubblica.

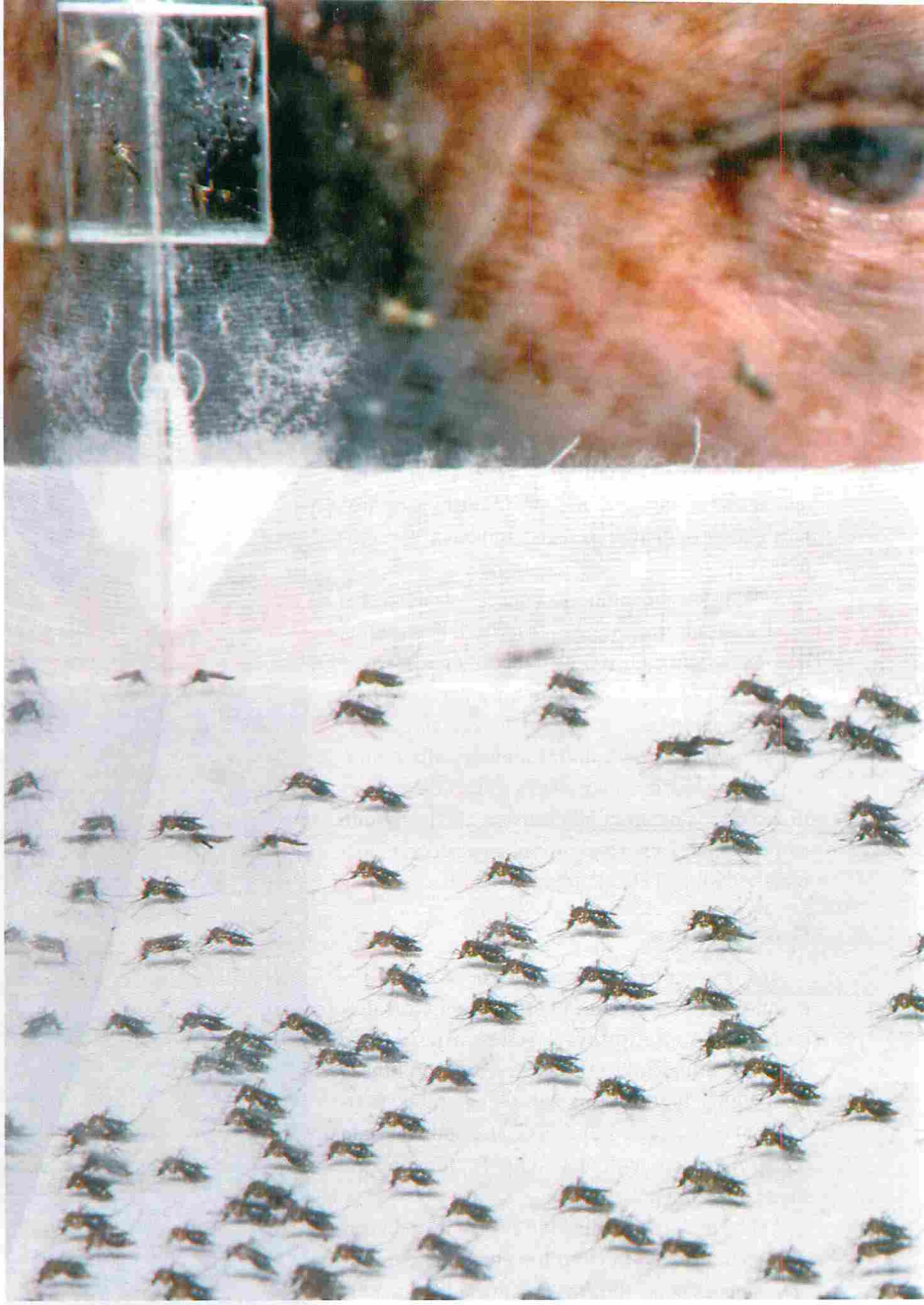
La conoscenza di queste nuove problematiche dovrebbe essere promossa sia con interventi specifici di formazione sia con la realizzazione di catene di informazione «a cascata», in grado di raggiungere gli operatori sul territorio. Inoltre in alcuni casi l'applicazione di semplici algoritmi diagnostici standardizzati può aiutare molto il clinico: lo sviluppo e l'applicazione di queste procedure dovrebbero essere maggiormente promossi.

## Nuovi metodi di diagnosi e nuove incertezze

La prospettive diagnostiche aperte dalle tecniche di biologia molecolare sono entusiasmanti, e consentono lo sviluppo di test accurati. D'altra parte però per la diagnostica delle malattie emergenti e riemergenti spesso non esistono *kit* commerciali, ed è molto difficile reperire standard affidabili per sviluppare nuove metodiche. Inoltre alcuni di questi patogeni, considerata loro pericolosità, devono essere maneggiati e gestiti in laboratori con un alto livello di biosicurezza. Di conseguenza, attualmente la diagnostica di queste malattie è affidata a pochi centri specializzati.

E, ancora, si dovrebbero promuovere sviluppo e impiego di test rapidi, accurati e facili da eseguire e da interpretare, e da usare nel modo più precoce possibile. Per alcune delle malattie descritte, malaria e dengue, sono già disponibili test rapidi e affidabili, ma per ora la diffusione di questi test è estremamente limitata.

Le malattie che abbiamo descritto costringono le autorità sanitarie ad affrontare nuovi problemi, e richiedono lo sviluppo di nuovi modelli di sorveglianza sanitaria. Durante i primi anni dell'epidemia statunitense causata dal West Nile virus, numerosi casi di trasmissione sono avvenuti con



Bloomberg/Getty Images


**GLI AUTORI**

GIUSEPPE IPPOLITO è direttore scientifico dell'Istituto nazionale per le malattie infettive «Lazzaro Spallanzani» di Roma. FRANCESCO MARIA FUSCO è medico presso lo stesso istituto e coordinatore dell'European Network for Highly Infectious Deseases.

STUDIARE IL VETTORE.
Un ricercatore osserva una scatola dove vengono fatte riprodurre zanzare della specie *Aedes aegypti* a scopo di studio. Questa zanzara può trasportare il virus della dengue, la cui diffusione è in aumento tutto il mondo.

trasfusioni di sangue e trapianti d'organo. È stato necessario sviluppare rapidamente un sistema di monitoraggio sul sangue donato, un sistema che fosse allo stesso tempo efficace e sostenibile. Lo stesso problema si è posto di recente in Italia, nelle regioni dove si sono verificati casi umani di malattia da West Nile virus, cioè Veneto, Emilia-Romagna e Lombardia. In quel frangente, nelle regioni interessate sono state instaurate in modo tempestivo misure di *screening* basate su test che vanno alla ricerca degli acidi nucleici del virus, mentre nelle altre regioni è in vigore una sorveglianza epidemiologica per escludere eventuali donatori di organi o tessuti che abbiano soggiornato in aree interessate dall'epidemia.

Inoltre, le risposte di sanità pubblica alle malattie emergenti e riemergenti coprono svariati altri campi, dalla lotta ai vettori alla realizzazione di reti di sorveglianza e controllo, fino allo sviluppo di adeguate strategie di comunicazione al cittadino e agli operatori sanitari.

L'emergere di nuove malattie pone in modo chiaro problemi nuovi. I vecchi modelli di risposta non possono in alcun modo rappresentare una valida soluzione.

Le malattie emergenti e riemergenti richiedono risposte complesse e multidisciplinari, richiedono cioè un nuovo approccio culturale. Ma soprattutto impongono di avere la forza di esplorare nuove e diverse soluzioni, che comprendano l'integrazione e la collaborazione tra diverse competenze, l'uso di strumenti tecnologici e la comprensione profonda dei cambiamenti ormai in atto nel mondo che ci circonda. In altre parole, per affrontare queste malattie sono necessari conoscenza, rigore scientifico e coraggio. ■

# L'imprevedibilità

**Hanno destato clamore, panico e sorpresa, ma influenza aviaria e influenza suina non erano affatto inattese, e ci hanno dato una lezione per prevenire simili eventi futuri**

Ajit Solanki/AP Photo/La Presse

di Isabella Monne e Ilaria Capua

BARBA, CAPELLI E PREVENZIONE. Barbieri in un salone di Ahmadabad, in India, fotografati nell'agosto 2009, durante l'epidemia di influenza suina, da cui si proteggono con mascherine.

Quanto è accaduto negli ultimi dieci anni, con la comparsa e la diffusione del virus influenzale aviario ad alta patogenicità H5N1 e l'emergere del nuovo ceppo pandemico umano H1N1 nel 2009, ha inevitabilmente richiamato l'attenzione sul potenziale dei virus influenzali tipo A di evolvere e sviluppare proprietà biologiche non prevedibili. Tuttavia, ricordare le principali caratteristiche di questi virus permette di capire che tutto ciò che è successo in questi anni non era inatteso.

I virus dell'influenza di tipo A appartengono al genere *Orthomyxovirus* e si contraddistinguono per alcune importanti caratteristiche genetiche. Innanzitutto si tratta di virus a RNA, caratterizzati dall'eccezionale velocità con cui nuove mutazioni compaiono nel loro patrimonio genetico, superiore milioni di volte alla rapidità di evoluzione tipica, per esempio, del genoma dei vertebrati. Questo permette ai virus influenzali di evolvere e adattarsi rapidamente, portando alla comparsa di nuovi ceppi virali con proprietà genetiche e antigeniche specifiche.

La seconda caratteristica determinante nell'evo-

# prevista

## IN SINTESI

- La recente pandemia di influenza suina, provocata dal virus H1N1, e la diffusione dell'influenza aviaria nel 2003 causata da H5N1, hanno colto di sorpresa istituzioni e parte della comunità scientifica.
- Per non ripetere gli errori del passato è necessario un nuovo approccio con cui tentare di anticipare epidemie e pandemie.
- Si deve ricondurre il concetto di salute umana e animale a un'unica definizione di salute, che considera esseri viventi e ambiente in cui vivono come vasi comunicanti.

luzione dei virus influenzali è la suddivisione del loro materiale genetico in otto segmenti genici distinti. Questa peculiarità rende possibile il verificarsi di un fenomeno chiamato riassortimento genico, che consiste nello scambio di materiale genetico tra virus influenzali distinti che si trovano a co-infettare nel medesimo momento la stessa cellula. È una sorta di riproduzione sessuale che crea chimere virali dalle proprietà ecologiche nuove e imprevedibili.

Questa straordinaria variabilità genetica facilita i virus influenzali nell'evasione della risposta immunitaria, e soprattutto li rende una specie di bersaglio mobile la cui traiettoria evolutiva è prevedibile come il risultato di un lancio di dadi.

Inoltre, il rimescolamento genico favorisce l'acquisizione di nuove caratteristiche patogenetiche, e soprattutto è determinante nell'ampliamento del loro spettro d'ospite. I virus influenzali tipo A, infatti, hanno il loro naturale serbatoio nei volatili acquatici da cui sono stati isolati tutti i possibili sottotipi tra i 16 sottotipi dell'antigene emoagglutinante, o emoagglutinina (HA), e i 9 sottotipi della neuraminidasi (NA). Da questo serbatoio di dimensioni

non definite e difficilmente controllabile, grazie a fenomeni di adattamento progressivo hanno origine virus influenzali capaci di infettare e diffondersi nella popolazione dei volatili domestici e dei mammiferi (*si veda il box qui a fianco*). Questa «promiscuità», unita all'incredibile «plasticità» genetica dei virus influenzali tipo A, ha guidato le pandemie più e meno recenti, ed è ragionevole credere che sarà determinante nelle emergenze future.

## Requisiti per una pandemia

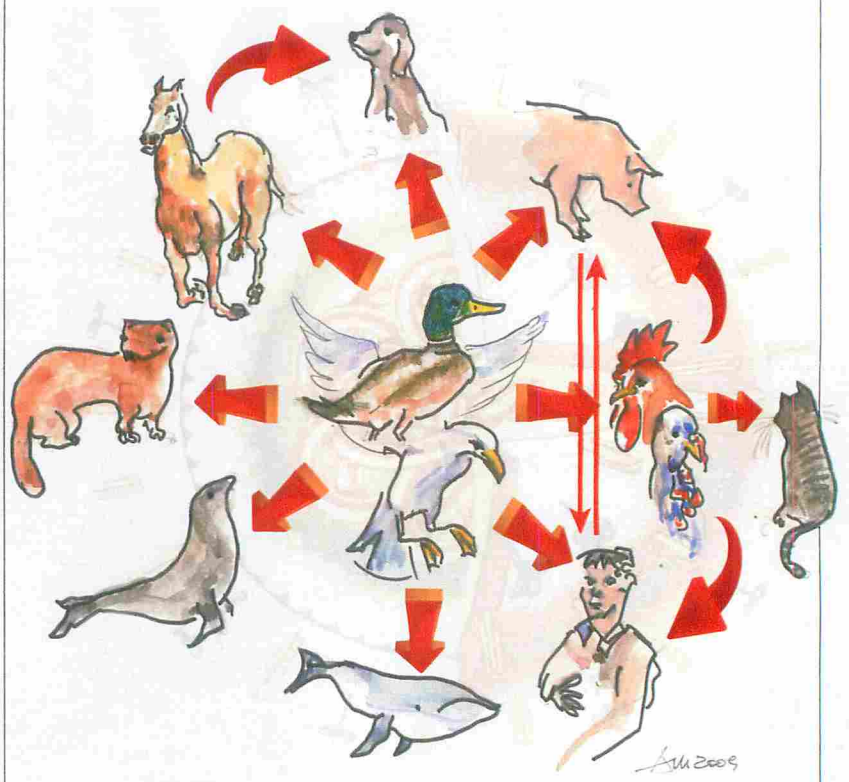
Per scatenare una pandemia nell'uomo un virus influenzale deve avere tre requisiti: caratteristiche antigeniche nuove per cui non esista un'adeguata copertura immunitaria nella popolazione; capacità di replicarsi nell'uomo causando una malattia; capacità di trasmettersi in modo efficiente da una persona infetta a un'altra. Nel corso del XX secolo questa condizione si è verificata quattro volte, con le pandemie del 1918, del 1957, del 1968 e con la recente pandemia del 2009.

I virus coinvolti in queste pandemie passate o ancora in corso hanno avuto origine direttamente dal serbatoio animale oppure dal rimescolamento di virus umani con virus animali. Questo spiega e in parte giustifica l'attenzione scientifica e mediatica scatenata dalla comparsa e dalla diffusione del virus influenzale aviario ad alta patogenicità H5N1. I casi di infezione umana (a oggi 499, di cui 295 mortali) provocati da questo sottotipo di origine aviaria, il suo rapido espandersi tra il 2005 e il 2006 oltre i confini asiatici, luogo d'origine del virus, verso Africa ed Europa e le caratteristiche di virus altamente patogeno hanno generato un improvviso timore che proprio questo ceppo potesse essere responsabile di una nuova pandemia influenzale nell'uomo.

Ma H5N1 non è l'unico ceppo interamente aviario in grado di provocare infezione nell'uomo. Sporadici casi di trasmissione volatile-uomo infatti sono stati descritti con virus di sottotipo H7 e H9. Recenti indagini hanno richiamato l'attenzione della comunità scientifica sulle potenzialità pandemiche del sottotipo H9N2. I virus di questo sottotipo sono endemici nel pollame in Medio Oriente ed Estremo Oriente. E questa ampia diffusione, associata alla capacità acquisita da alcuni ceppi virali H9 di legarsi ai recettori umani, ha aumentato il timore che questo sottotipo possa essere coinvolto in una prossima pandemia influenzale.

Nonostante la prolungata e vasta circolazione dei sottotipi H5N1 e H9N2, fino a oggi questi virus non hanno ancora acquisito uno dei tre requisiti essenziali per rendere un virus influenzale «pandemico»: la capacità di trasmettersi da uomo a uomo.

## Destino da virus: saltare per vivere



I virus influenzali di tipo A, a cui appartiene il virus H1N1 responsabile della pandemia di influenza del 2009, hanno come serbatoio naturale i volatili acquatici. Da questi serbatoi, difficili da monitorare e quantificare, i virus possono passare agli esseri umani, e quindi provocare casi di influenza umana, e ad altri animali, tra cui i maiali (e si ha l'influenza suina), gli uccelli e il pollame (influenza aviaria). La trasmissione dei virus influenzali avviene abitualmente mediante contatto diretto o stretta vicinanza con gli individui o animali infetti, grazie a salti di specie che lasciano la firma nel genoma virale, o meglio lo stravolgono. Numerose analisi effettuate in paesi diversi hanno per esempio dimostrato che il virus alla base della pandemia umana del 2009 è un nuovo ceppo di H1N1 che contiene componenti genetiche di virus influenzali suini, aviari e umani in una combinazione – ottenuta con un processo noto come riassortimento – che non era mai stata osservata prima.

Ogni possibile domanda sul perché non sia accaduto e se mai accadrà è ancora senza risposta.

Certo è che il virus H1N1 responsabile della pandemia 2009 ha richiamato l'attenzione della comunità scientifica su alcuni aspetti importanti dell'ecologia dei virus influenzali sottovalutati o non considerati in modo appropriato fino all'esplosione di questa nuova emergenza. Innanzitutto, per ora solo i virus di sottotipo H1, H2 e H3 hanno causato pandemie. Tuttavia per troppo tempo molti esperti hanno perso di vista questo dettaglio, concentrandosi, nella ricerca di nuovi vaccini contro i candidati pandemici, su nuovi sottotipi

Amelio Moini (*illustrazione*); Nathan Sothilingam/iStockphoto (*freccia*)

OCCUPAZIONI A RISCHIO.
Un venditore di galline a Chengdu, nella Cina sud-occidentale, durante l'epidemia di influenza aviaria, causata dal virus H5N1, che ha infettato soprattutto persone che si sono trovate a stretto contatto con pollame vivo.

AP Photo/La Presse

virali di HA, primo tra tutti il sottotipo H5. Questo perché in molti consideravano la popolazione umana sufficientemente protetta contro i sottotipi H1 e H3, grazie alle precedenti esposizioni all'agente e/o interventi vaccinali contro i ceppi influenzali stagionali.

## Errore di valutazione

Un solo gruppo di esperti, tra l'altro italiani, formato da medici e veterinari, aveva sottolineato la superficialità di un approccio del genere, dimostrando che la protezione da un'eventuale pandemia causata da questi sottotipi, sebbene in circolazione da tempo, era tutt'altro che garantita per la popolazione. Le indagini, condotte prima della comparsa del nuovo ceppo pandemico H1N1, avevano dimostrato che i ceppi H1 e H3 in circolazione nella popolazione animale non reagivano o reagivano scarsamente con sieri umani contenenti alti titoli anticorpali verso i medesimi sottotipi, come ha scoperto uno degli autori di questo articolo, Ilaria Capua, insieme ad altri ricercatori, denunciando l'urgente necessità di rivedere convinzioni decennali. Questo studio sottolineava soprattutto la necessità e l'urgenza di vaccini pre-pandemici per virus H1 e H3. Ma la pandemia è arrivata prima.

La diffusione globale del ceppo H1N1 nel 2009 (*si veda la mappa a pp. 56-57*) non ha che sottolineato ancora una volta l'incredibile varietà di forme con cui uno stesso sottotipo virale si può presentare, e ci ha costretto a ricordare quanto sia importante non dimenticare le passate esperienze. Se si analizzano le pandemie del XX secolo, non solo si riconoscono come protagonisti esclusivamente virus di sottotipo H1, H2 e H3. Ma si scopre che un ruolo cruciale nella generazione dei vecchi virus pandemici è stato svolto dalla popolazione suina. Proprio nel suino ha avuto origine il virus H1N1 del 2009, e proprio i suini sono stati la camera di incubazione (*mixing vessel*) da cui hanno avuto origine alcuni virus pandemici del passato attraverso il riassortimento tra virus influenzali aviari e umani. Questa specie presenta infatti una costellazione recettoriale, a livello dell'epitelio respiratorio, che rende possibile l'infezione e la replicazione sia dei virus influenzali aviari sia dei virus influenzali dei mammiferi.

La coinfezione di una medesima cellula con virus influenzali umani, suini e aviari può generare, mediante riassortimento, nuove progenie virali con geni provenienti da entrambi i progenitori, capaci di replicarsi nell'uomo e con caratteristiche antigeniche e di patogenicità non prevedibili. Questa caratteristica, associata alle comuni interazioni


**GLI AUTORI**

**ISABELLA MONNE** è veterinario del Centro di referenza nazionale FAO-OIE per l'influenza aviaria dell'Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie.
**ILARIA CAPUA** dirige il Dipartimento di virologia dell'Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie e coordina a livello mondiale i laboratori FAO-OIE per le ricerche sull'influenza aviaria.

# Perché è stata pandemia

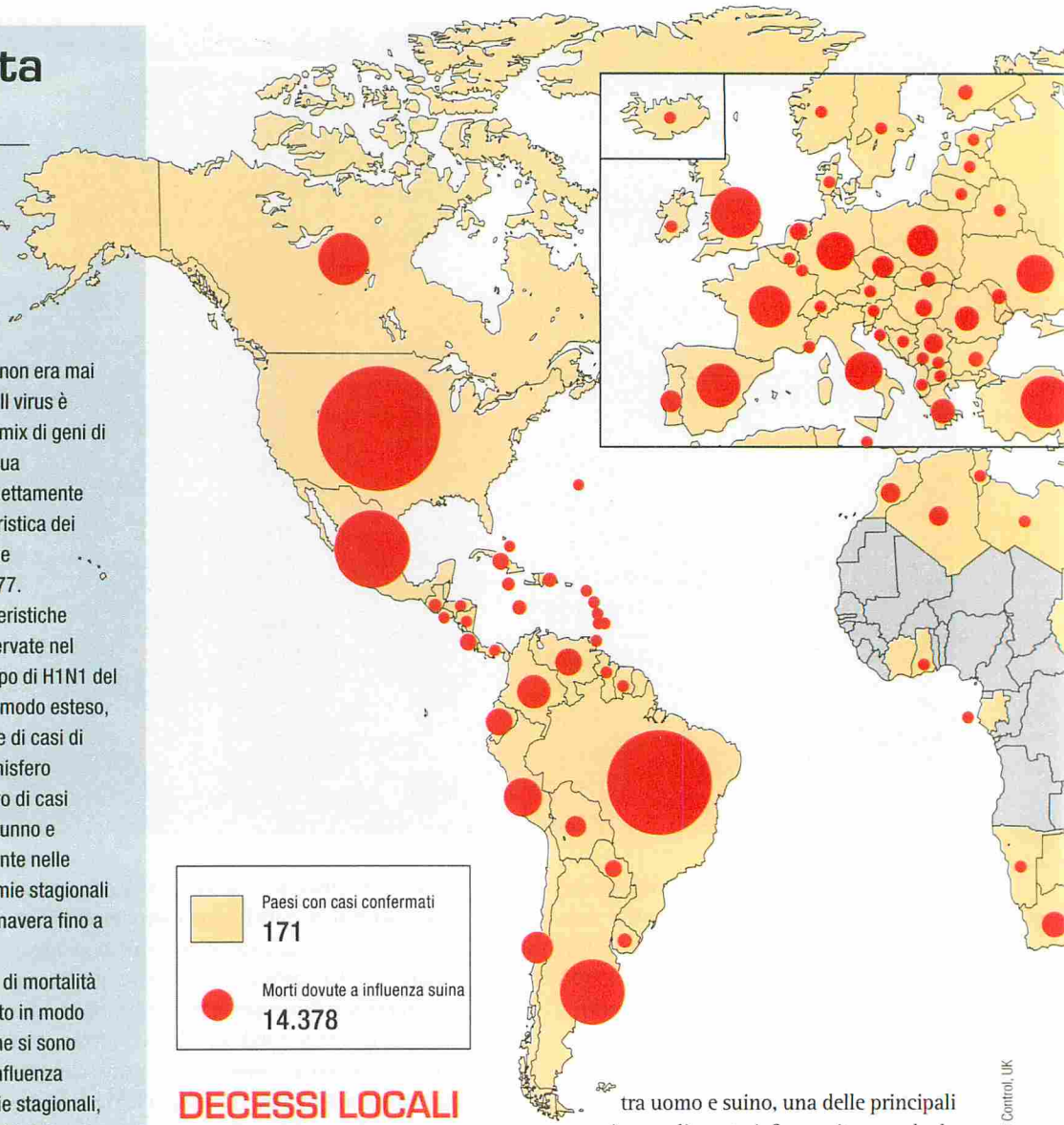
Quali caratteristiche hanno reso H1N1 2009 un virus pandemico? I primi casi di infezione umana con il nuovo ceppo H1N1 sono stati descritti nell'aprile dello scorso anno. Le analisi hanno dimostrato che questo virus non era mai circolato nella popolazione umana. Il virus è risultato di origine animale, con un mix di geni di origine suina, aviaria e umana. La sua composizione genetica è risultata nettamente distinta dalla composizione caratteristica dei virus che hanno causato le epidemie stagionali da H1N1 a partire dal 1977.

La diffusione ha evidenziato caratteristiche epidemiologiche del virus mai osservate nel corso di epidemie stagionali. Il ceppo di H1N1 del 2009 si è diffuso rapidamente e in modo esteso, causando un numero considerevole di casi di infezione nel periodo estivo dell'emisfero settentrionale, seguiti da un numero di casi ancora maggiore nel corso dell'autunno e dell'inverno successivi. Generalmente nelle regioni a clima temperato le epidemie stagionali riducono la propria intensità in primavera fino a scomparire prima dell'estate.

Le caratteristiche di contagiosità e di mortalità del nuovo virus H1N1 hanno differito in modo impressionante rispetto a quelle che si sono osservate durante le epidemie di influenza stagionale. Nel corso delle epidemie stagionali, infatti, il 90 per cento delle infezioni fatali riguarda la popolazione più anziana. Per il virus H1N1 2009, invece, maggiormente colpiti in termini di numero di infezioni, di ospedalizzati, di affetti da forme gravi e di decessi sono stati i soggetti giovani.

E la causa di morte più frequente è stata la polmonite causata dal virus stesso. Si consideri che nel corso delle epidemie stagionali gran parte dei casi di polmonite è causata da infezioni batteriche secondarie.

Il nuovo virus H1N1 ha rapidamente prevalso sugli altri ceppi influenzali circolanti, scalzando il vecchio H1N1 stagionale. Gli anticorpi contro gli H1N1 stagionali non hanno protetto dal nuovo H1N1 del 2009. Questo fenomeno ha suggerito che H1N1 2009 era un virus nuovo per il sistema immunitario umano.



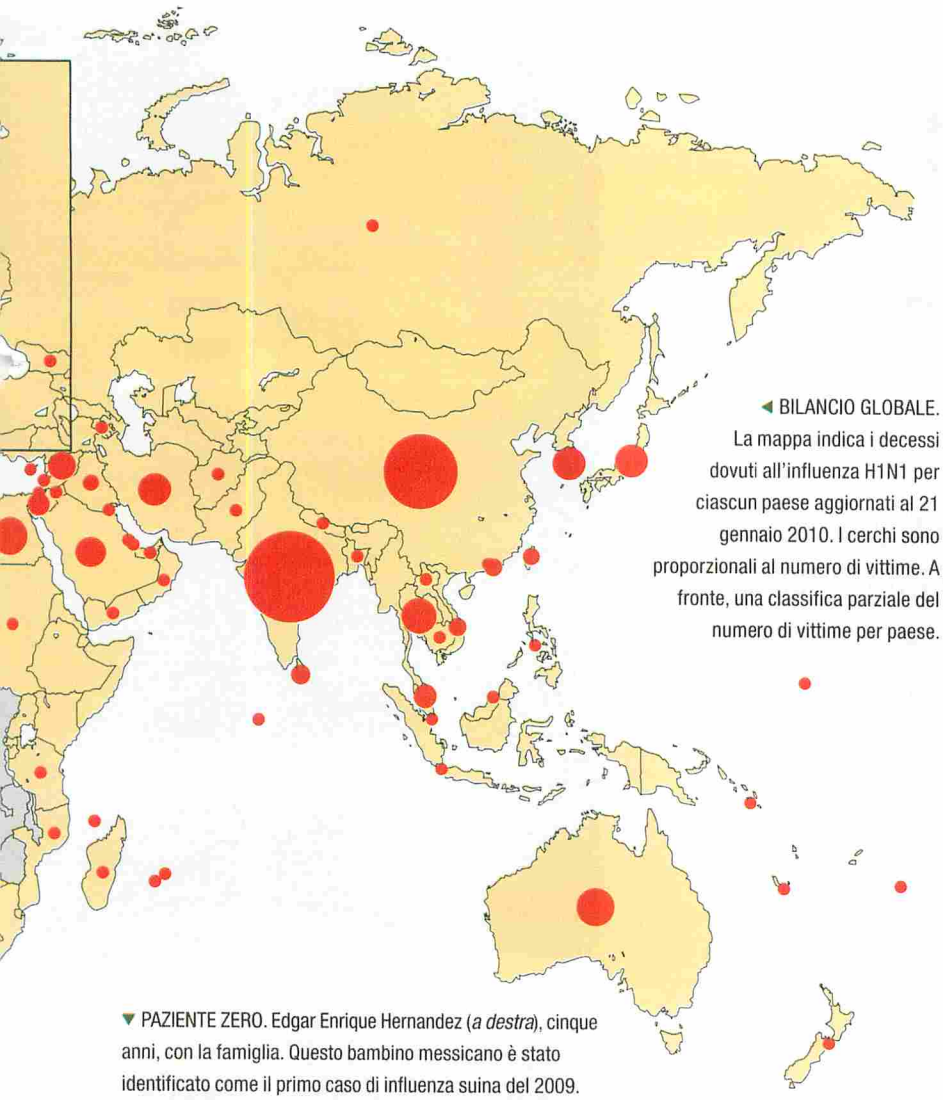

## DECESSI LOCALI

| | |
|---|---|
| Stati Uniti | 2328 |
| Brasile | 1632 |
| India | 1119 |
| Messico | 909 |
| Cina | 714 |
| Turchia | 415 |
| Regno Unito | 362 |
| Francia | 258 |
| Egitto | 219 |
| ITALIA | 210 |
| Ucraina | 202 |
| Australia | 191 |

tra uomo e suino, una delle principali risorse alimentari, fanno ritenere che la popolazione suina non smetterà di avere un ruolo essenziale nelle prossime pandemie, insieme alla popolazione dei volatili.

È necessario imparare la lezione dall'errore commesso sottovalutando l'importanza di una sorveglianza sistematica nella popolazione suina e lasciando a un nuovo ceppo H1N1 la libertà di trasformarsi in un agente zoonosico. Le nuove ricerche dovranno fare i conti con il passato, e dovranno ricondurre il concetto di salute umana e salute animale sotto un'unica importante definizione, quella di una sola salute (One Health) che considera gli esseri viventi e l'ambiente in cui vivono come vasi comunicanti. Nella valutazione dei futuri rischi epidemici, questo approccio olistico dovrà tenere conto delle nuove abitudini sociali che vedono evolversi il rapporto uomo-animale da strettamente utilitaristico a prettamente affettivo.

Fonte della mappa: Organizzazione mondiale della Sanità, European Centre for Disease Prevention and Control, UK Health Protection Agency, Centers for Disease Control and Prevention, governi



◀ BILANCIO GLOBALE. La mappa indica i decessi dovuti all'influenza H1N1 per ciascun paese aggiornati al 21 gennaio 2010. I cerchi sono proporzionali al numero di vittime. A fronte, una classifica parziale del numero di vittime per paese.

▼ PAZIENTE ZERO. Edgar Enrique Hernandez (*a destra*), cinque anni, con la famiglia. Questo bambino messicano è stato identificato come il primo caso di influenza suina del 2009.

STR/epa/Corbis

A questo riguardo, parlando di influenza tipo A non si possono non considerare specie quali il cavallo e il cane come obiettivi importanti dell'attività di sorveglianza e controllo. Alcuni sottotipi influenzali (H7N7 e H3N8 nel cavallo, H3N8 e H3N2 nel cane) sono stati ripetutamente responsabili di forme respiratorie epidemiche in queste specie che vivono a stretto contatto con noi, viaggiano con noi e, come tali, pur non essendo responsabili in passato di eventi zoonosici influenzali, non si può escludere che in futuro potranno essere coinvolti nella generazione di nuovi ceppi influenzali trasmissibili all'uomo.

## L'approccio One Flu

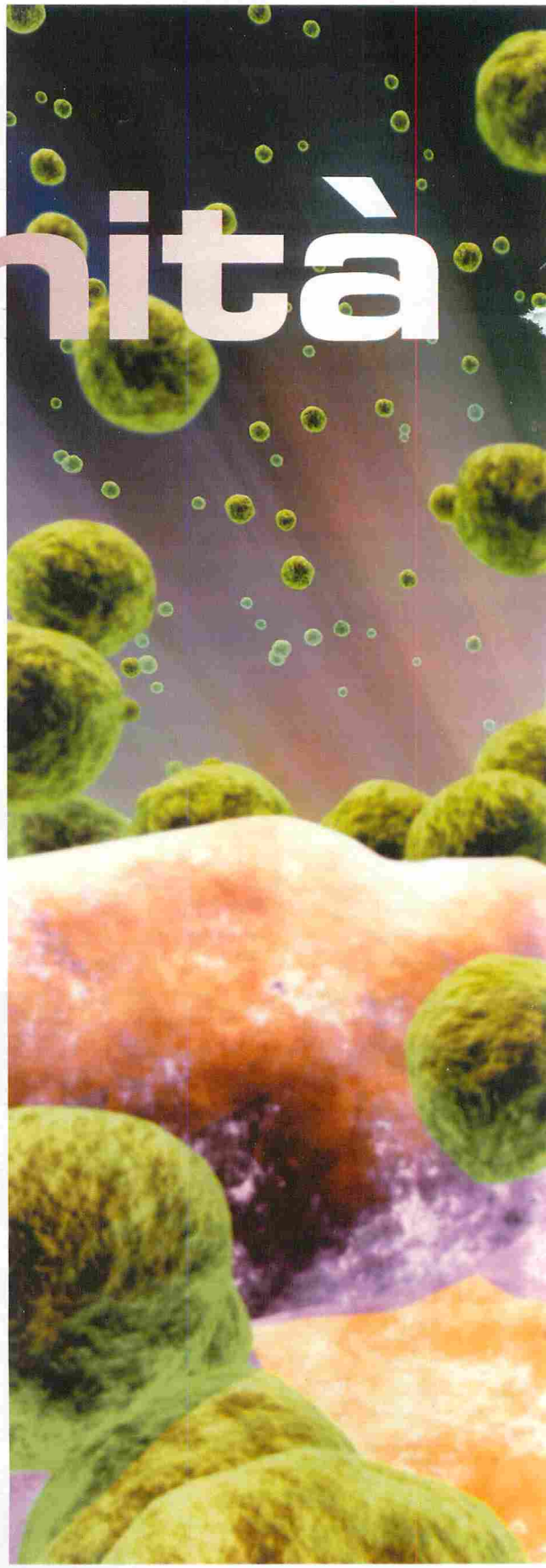
A questo proposito, uno degli autori di questo articolo, Ilaria Capua, insieme a Giovanni Cattoli dell'Istituto zooprofilattico delle Venezie, ha proposto su «Emerging Infectious Diseases» di usare proprio le infezioni influenzali come modello operativo dell'approccio One Health, cioè One Flu. In particolare, l'obiettivo della proposta è la creazione di un osservatorio che consideri il pool genico dei virus influenzali come un'unica entità, e quindi abbatta i compartimenti stagni e i dogmi, sviluppando un modello transdisciplinare a tutela della salute delle persone e degli animali.

La situazione che abbiamo descritto aiuta a capire che per ora la comunità scientifica non è in grado di fare previsioni certe su ciò che accadrà, dove accadrà e su quale sarà il protagonista della prossima pandemia. Certo è che sicuramente nell'immediato futuro non sapremo interrompere i meccanismi evolutivi dei virus influenzali, né controllare lo stato infettivo di ogni singola specie animale, e che l'emergere di nuovi ceppi influenzali sarà un evento decisamente probabile.

I ritardi nel riconoscimento del nuovo ceppo pandemico H1N1 comparso in Messico nel 2009, l'impossibilità di frenarne la diffusione, la manipolazione mediatica e l'inevitabile disorientamento dei governi dei paesi sviluppati sulle scelte profilattiche più appropriate per la tutela della salute pubblica hanno evidenziato che nonostante la «palestra» di H5N1 abbiamo ancora molto da fare e da imparare, e soprattutto da studiare.

Gli insegnamenti del passato e le scoperte di oggi, la distruzione del vecchio approccio «a compartimenti stagni» e il rafforzarsi delle reti scientifiche che collegano tra loro discipline diverse saranno alleati insostituibili che ci aiuteranno a evitare che un virus modifichi ancora le nostre abitudini sociali, costringendoci a provare la scomoda sensazione di essere ospiti di un mondo di proprietà dei microrganismi. ■

# Virus e immunità



**Imparare dal nemico per sconfiggerlo è la strategia messa in atto dagli immunologi per combattere alcuni virus che manipolano il sistema immunitario, causando gravi malattie**

di Alberto Mantovani

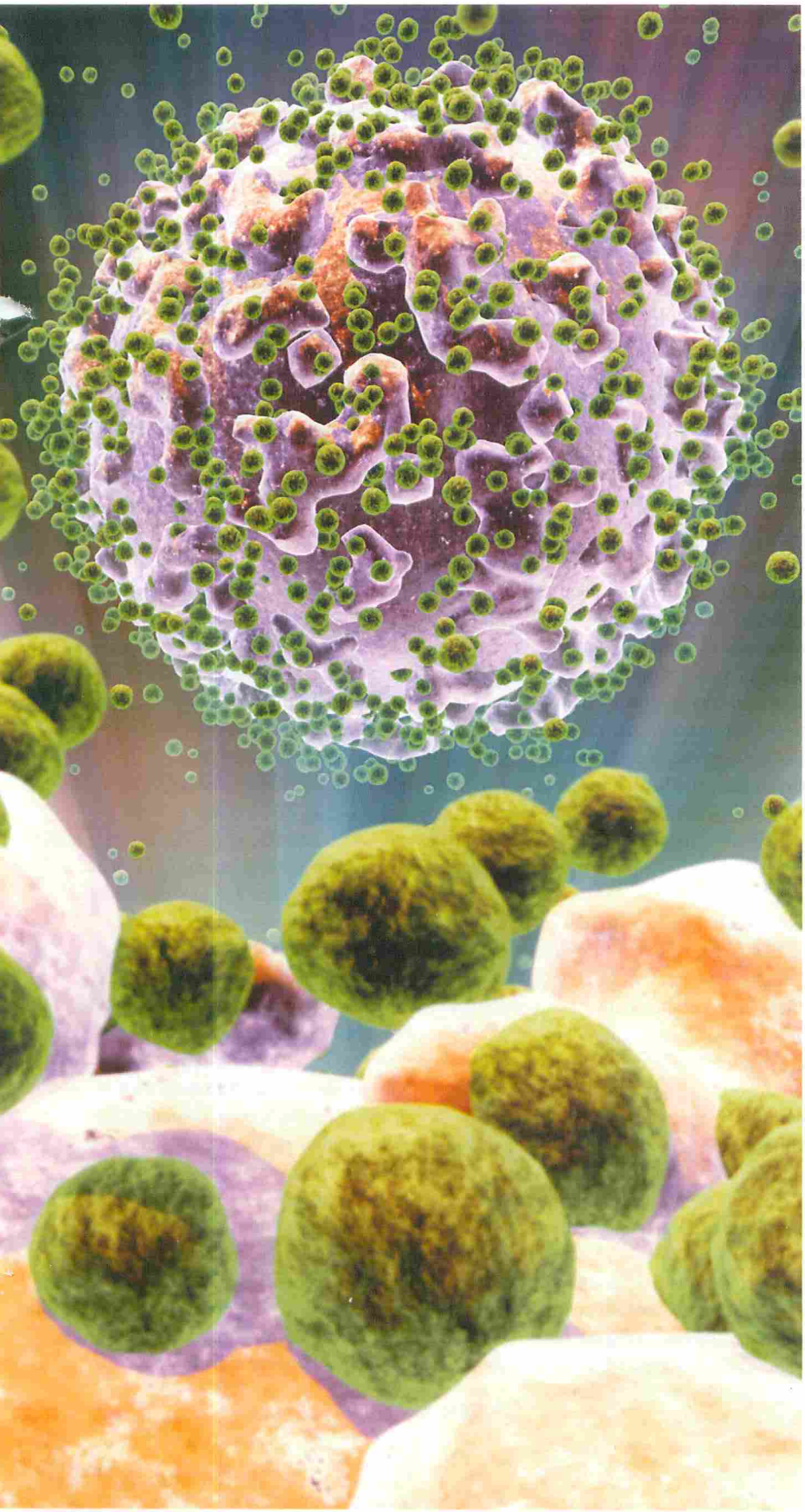
**IN SINTESI**

- I virus hanno imparato a conoscere il nostro sistema immunitario e a eluderne gli attacchi, sviluppando strategie in cui manipolano le difese del nostro organismo.
- Per sconfiggerli, quindi, gli immunologi hanno pensato di andare a scuola dal nemico, cioè studiano con attenzione i trucchi usati dai virus per eludere il sistema immunitario e poi cercano di sfruttarli in ambito terapeutico.

Paragonato per la sua estrema complessità al sistema nervoso centrale, il sistema immunitario permette all'organismo di combattere gli agenti infettivi come virus e batteri e di mantenere l'omeostasi, cioè la condizione di stabilità interna, anche a fronte del variare delle condizioni esterne. È come una grande orchestra con direttori, orchestrali e strumenti (non ancora tutti identificati) che suona seguendo due parole chiave: riconoscimento e comunicazione. Riconoscimento perché deve individuare la presenza di invasori come virus e batteri, aggredirli e riparare il danno subito. E comunicazione perché, per fare tutto questo nel modo giusto e senza procurarsi danni, è necessario un sistema di comunicazione efficace ed efficiente.

La complessità del sistema immunitario riflette in parte il nostro rapporto evolutivo con gli agenti microbici come batteri e virus. Nel nostro organismo, composto da 100.000 miliardi di cellule, convivono almeno 10 milioni di miliardi di microrganismi «estranei». Nell'evoluzione delle difese immunitarie, dunque, è stata fondamentale la selezione dei microrganismi «buoni» (come la flora intestinale, che ci aiuta dal punto di vista metabolico e promuove la maturazione del sistema immunitario stesso) rispetto a quelli che invece per noi

MANIPOLATORI SISTEMATICI. Particelle di HIV, o virioni (*in verde*), emergono da linfociti T4 dopo l'infezione del virus. Il ciclo vitale di HIV è un esempio di manipolazione virale del sistema immunitario.



Hybrid Medical Animation/SPL/Contrasto

sono un pericolo. Fra questi ultimi ci sono i virus, in grado di sviluppare numerose e differenti mutazioni che, in qualche modo, hanno contribuito a dare forma al nostro sistema immunitario.

In questo rapporto di lunga data i virus hanno imparato a «conoscere» il nostro sistema immunitario, in termini evoluzionistici, molto meglio degli stessi immunologi. Ecco perché per sconfiggere i virus è nata l'idea di «andare a scuola» proprio dai virus stessi, con l'obiettivo di imparare a manipolare il sistema immunitario.

## Porte d'entrata, segnali di allarme

In che modo i virus entrano nel nostro organismo? Patogeni anche molto diversi tra loro adottano tattiche simili per aggredirci. Mettono in atto strategie molto sofisticate e astuti stratagemmi per camuffarsi e non farsi riconoscere, e dunque contrastare, dalle nostre difese naturali: i globuli bianchi, paragonabili ad agenti di polizia che pattugliano costantemente il nostro organismo.

Alcuni virus usano le molecole del sistema immunitario come porte d'entrata per infettare le nostre cellule e come veicolo per diffondersi, arrivando anche in zone altrimenti inviolabili come il sistema nervoso centrale. L'HIV, per esempio, usa i recettori (strutture presenti sulla superficie delle cellule dell'immunità) indicati con le sigle CD4, CCR5 e CXCR4 (*si veda illustrazione a p. 61*). Agli ultimi due si legano le chemochine, vere e proprie «parole» dell'infiammazione, che hanno il compito importante di richiamare – nel luogo, nel momento e nella quantità giusta – i globuli bianchi che difendono il nostro organismo dagli agenti esterni e orchestrano il riparo di tessuti e organi danneggiati. La scoperta di questo meccanismo di aggressione messo in atto dall'HIV ha aperto la strada allo sviluppo di Maraviroc, un farmaco, oggi in uso clinico, che interferisce con questo sistema chiudendo al virus una delle porte di ingresso.

La stessa strategia è usata anche da patogeni più complessi dei virus. Un altro recettore della stessa famiglia di CCR5 (detto DARC), per esempio, è la porta d'entrata nei globuli rossi di uno dei plasmodi che causano la malaria: *Plasmodium vivax*.

Il nostro sistema immunitario ha il compito di riconoscere patogeni e virus come estranei potenzialmente dannosi per reagire ed eliminarli. E visto che deve affrontare problemi molto diversi – dai parassiti di grosse dimensioni come i vermi intestinali, ai nemici invisibili come i virus – ha sviluppato armi diverse.

All'interno del nostro sistema di difesa si distinguono generalmente due diverse categorie: l'immunità non specifica o innata, la più antica, e l'im-

**Alcuni virus diventano invisibili, o quasi, per il sistema immunitario, altri si mascherano, altri ancora si comportano come pirati di molecole**

munità specifica o adattativa. L'immunità innata funziona come prima linea contro le infezioni, e lancia l'allarme che fa partire le difese più sofisticate. Le cellule di questa parte del sistema immunitario identificano la presenza dei virus riconoscendone DNA e RNA grazie a sensori, localizzati sulla superficie cellulare, nel compartimento endosomiale (i vacuoli che si formano quando le cellule dell'immunità innata inglobano un microbo e lo digeriscono, formando gli acidi nucleici), o nel citoplasma (i recettori della famiglia Toll e Rig1).

Quella dei sensori dell'immunità innata è una scoperta molto recente, che a partire da microrganismi, batteri e virus sta arrivando alla clinica. In particolare si stanno sviluppando farmaci che interagiscono con i sensori per spegnerli, se accesi in modo inappropriato, o per accenderli, se è necessario amplificare la risposta immunitaria, come nel caso degli adiuvanti nei vaccini.

Se un agente infettivo supera la resistenza iniziale dell'immunità innata, entra in gioco quella adattativa (o acquisita), che produce una risposta immunologica specifica di cui l'organismo conserva memoria. Se a distanza di tempo l'organismo entra di nuovo in contatto con lo stesso agente infettivo, nella maggior parte dei casi risulta immune, e quindi protetto. Le vaccinazioni, per esempio, sfruttano la specificità e la memoria dell'immunità acquisita, che si manifesta con la produzione di anticorpi che bloccano i virus in circolo, o di linfociti T che uccidono le cellule infettate.

## Carte d'identità

I linfociti T sono i direttori d'orchestra del sistema immunitario, perché guidano il traffico delle cellule e delle molecole deputate a difenderci, indirizzandole nel luogo, nel momento e nella quantità giusta. Questi linfociti pattugliano l'organismo controllando la «carta di identità» – cioè le molecole che fanno parte del complesso maggiore di istocompatibilità – delle nostre cellule. Quando i virus ci infettano, aggiungono un pezzo a questa carta di identità: riconoscendolo come estraneo, i linfociti T innescano un complicato processo di reazione al termine del quale uccidono la cellula contaminata.

Alcuni virus, in particolare quelli della famiglia dell'herpes, si sono evoluti in modo da far sparire la carta d'identità delle cellule che infettano, rendendole invisibili agli occhi dei linfociti T. E se da una parte il nostro sistema immunitario riesce comunque, data la sua complessità, a riconoscere e combattere molti di questi virus (i nostri linfociti NK, o cellule *natural killer*, si accorgono della mancanza di carta d'identità), dall'altra i virus hanno imparato a ingannare e disorientare le nostre cellule di difesa, sviluppando sofisticate strategie di evasione dai loro attacchi.

## Cavalli di Troia e pirati molecolari

Per sfuggire al riconoscimento del sistema immunitario o tenerne sotto controllo la reazione, i virus della classe Vaccinia usano come cavallo di Troia le cellule morte: mascherandosi da cellule morte, questi virus sono inglobati dagli spazzini molecolari, cioè cellule che hanno lo specifico compito di mantenere pulito il nostro organismo.

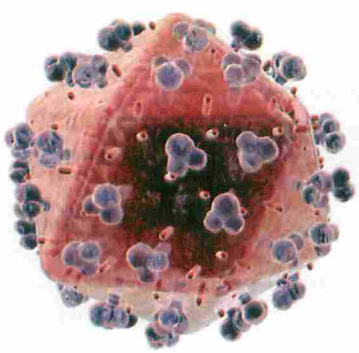
I virus di tipo erpetico, fra cui quello del vaiolo, hanno invece sviluppato strategie per bloccare i segnali di comunicazione dell'immunità (le citochine). Questi virus si comportano come pirati molecolari: nella loro evoluzione genetica hanno catturato alcune molecole dell'immunità e se ne servono per sovvertire e tenere sotto controllo i diversi compartimenti del sistema immunitario. Per esempio producono «specchietti per le allodole», i cosiddetti *decoy receptor*, che bloccano i sistemi di comunicazione e attacco. In questo modo sono disattivati gli interferoni, che hanno attività antivirale, le chemochine, che attirano i globuli bianchi preposti alla difesa, e le citochine, che inviano segnali di allarme al sistema immunitario.

Il virus del sarcoma di Kaposi (HHV8), che in alcuni casi accompagna l'HIV, fornisce un buon esempio delle sofisticate strategie usate dai patogeni per deviare e sovvertire le difese immunitarie: nel corso dell'evoluzione HHV8 si è comportato come un pirata molecolare. Questo virus causa alcuni tumori rari, fra cui appunto il sarcoma di Kaposi, cancro endemico in alcune aree geografiche (per esempio in Sardegna) la cui incidenza aumenta nei pazienti affetti da HIV e diminuisce in seguito al controllo dell'infezione. HHV8 ha catturato un recettore delle chemochine che usa per trasformare le cellule sane in cellule tumorali: come un interruttore sempre acceso, fa proliferare le cellule di endotelio linfatico infettate, che diventano fusiformi.

Inoltre, studi anche del nostro gruppo hanno dimostrato che HHV8 ha catturato geni di alcune chemochine, scegliendo quelle che richiamano cellule che non fermano né il virus né il tumore, ma che anzi aiutano entrambi a proliferare. Un po' come se in guerra il nemico facesse arrivare ingegneri che costruiscono ponti invece di carri armati.

## A scuola dai virus

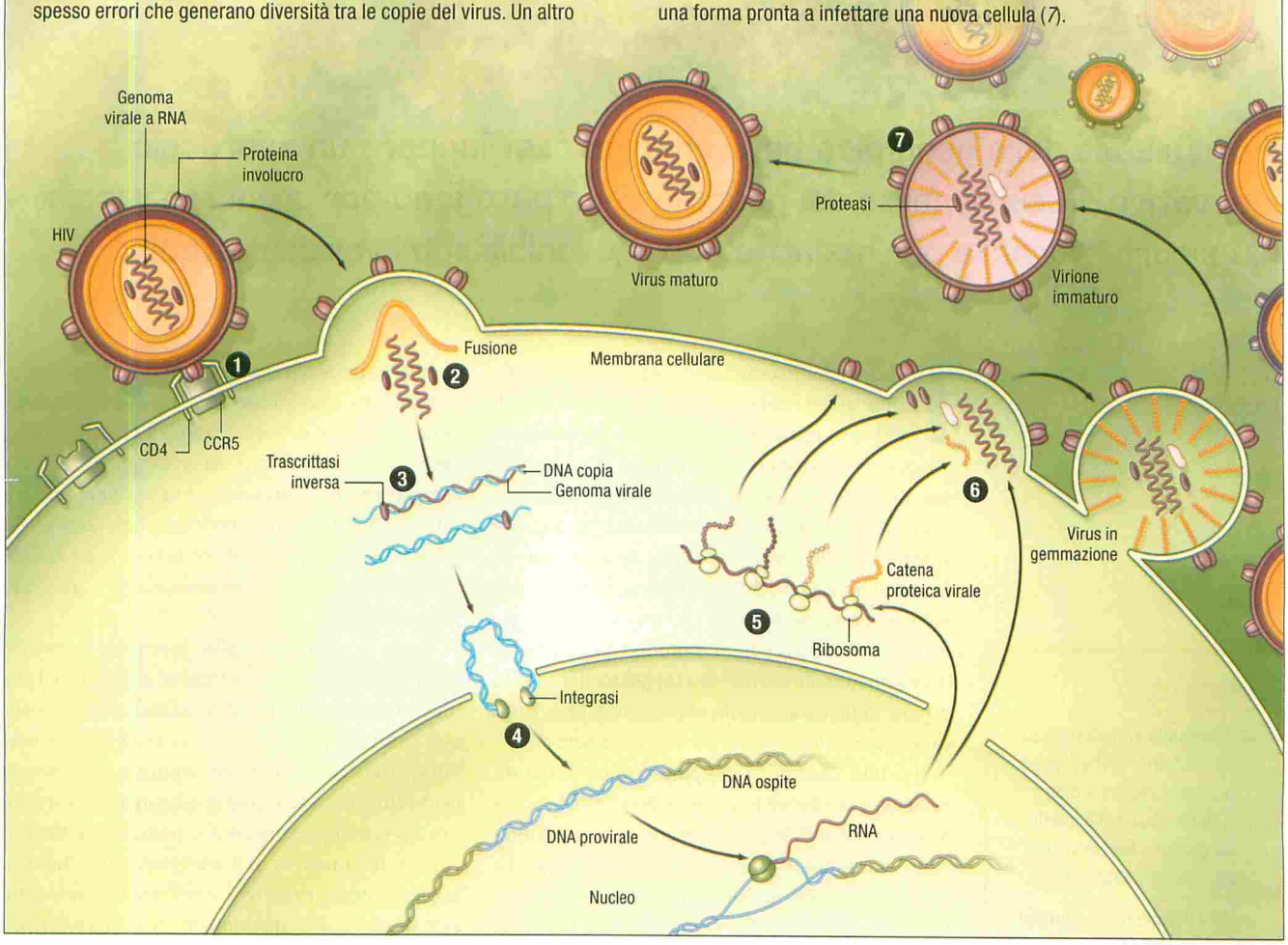
Nel tempo, quindi, i virus hanno imparato a conoscere il sistema immunitario e a eludere i suoi attacchi per sopravvivere. Per questo gli immuno-



Zygote Media Group, Inc.

## Ingannare le serrature cellulari

Un esempio di manipolazione del sistema immunitario per opera di un virus è fornito dal ciclo vitale dell'HIV. Questo virus invade le cellule dell'immunità e ordina ai meccanismi cellulari di creare nuove copie di se stesso. In primo luogo una proteina del virus – detta involucro, o *envelope* – si deve legare alle proteine CD4 e CCR5 sulla superficie della cellula (*1*). In seguito alla fusione con la cellula, il virus riversa il proprio contenuto nel citoplasma (*2*). Un enzima virale, la trascrittasi inversa, copia il genoma a RNA del virus in DNA a doppia elica (*3*), commettendo spesso errori che generano diversità tra le copie del virus. Un altro enzima virale, l'integrasi, inserisce la copia nel DNA ospite (*4*). I meccanismi cellulari trascrivono i geni virali, producendo nuovo RNA (tra cui quello che serve da stampo per le proteine) che migra verso il citoplasma, dove i ribosomi producono le proteine codificate (*5*). L'RNA e le proteine virali si muovono quindi verso la membrana cellulare, dove si riuniscono in una particella virale in gemmazione. Nella nuova copia immatura del virus, la proteasi (un enzima dell'HIV) modifica le catene proteiche virali, consentendo alle particelle, o «virioni», di maturare in una forma pronta a infettare una nuova cellula (*7*).




Tami Tolpa

logi ne hanno osservato con attenzione il comportamento, prendendo spunto da alcuni trucchi che usano per sovvertire le nostre difese.

Sulla base anche della scoperta delle molecole piratate dai patogeni abbiamo sviluppato il concetto di trappole molecolari, falsi recettori (i recettori *decoy*) che intrappolano la molecola che dovrebbe scatenare la risposta immunitaria, impedendo l'inizio dell'infiammazione. Dal concetto di trappole molecolari sono derivate strategie terapeutiche innovative, che hanno migliorato la vita di pazienti con malattie immunitarie e infiammatorie.

Ora l'obiettivo degli immunologi è piratare gli stessi virus, usando le loro molecole per bloccare o controllare la risposta immunitaria. La scoperta di virus all'origine dello sviluppo di tumori ha aperto la strada a studi fondamentali per l'identificazione degli oncogeni, i bersagli contro cui sono puntate le armi terapeutiche.

Emblematico il caso del virus di Epstein-Barr, all'origine di alcune forme di linfoma, tra cui quello di Burkitt, e coinvolto anche nella patogenesi di alcuni tumori della testa e del collo. Oggi in clinica sono sperimentate terapie cellulari (linfociti rieducati) mirate a colpire il virus di Epstein-Barr per curare linfomi e cancro del rinofaringe. ■

**L'AUTORE**

**ALBERTO MANTOVANI** è direttore scientifico dell'Istituto clinico «Humanitas», Istituto di ricovero e cura a carattere scientifico (IRCCS).

# Il nuovo secolo dei vaccini

**Il progresso della genomica ha permesso di sviluppare un approccio innovativo, in cui si parte dal genoma di un patogeno per produrre vaccini più sicuri, efficaci e per malattie non prevenibili con i vecchi metodi**

di Rino Rappuoli e Lisa Vozza

**IN SINTESI**

- Il principio empirico usato fin dai tempi di Pasteur per produrre vaccini – cioè isolare, uccidere e iniettare un germe – funziona solo per microrganismi stabili.
- Per i patogeni che mutano è stata elaborata una nuova strategia, la *reverse vaccinology*, che progetta i vaccini partendo dal genoma di un patogeno.
- Sviluppata nei laboratori di Siena, questa strategia ha già ottenuto il primo successo e promette vaccini più sicuri ed efficaci, anche per malattie non prevenibili con le strategie che seguono il principio di Pasteur.

I vaccini che produciamo oggi sono radicalmente diversi dai preparati del secolo scorso. Il cambio di rotta è stato provocato da una rivoluzione tecnologica che negli ultimi dieci anni ha portato a riformulare i vecchi preparati, rendendoli più efficaci e sicuri, e a ottenere vaccini insperati contro malattie che si ritenevano non prevenibili. Grazie ai progressi della genomica possiamo conoscere in tempi molto brevi l'intero patrimonio genetico di un virus o di un batterio e progettare la composizione di un vaccino introducendovi solo le parti indispensabili alla risposta immune. Tutto ciò che è inutile o pericoloso si può scartare.

Il primo vaccino sviluppato seguendo questa strategia è contro un microrganismo formidabile, il meningococco B, le cui innumerevoli varianti avevano scoraggiato generazioni di vaccinologi. La cosiddetta *reverse vaccinology*, o l'arte di progettare vaccini a partire dal genoma, è nata in Italia, nei laboratori di Siena, dove i vaccini godono di una tradizione secolare. Ed è nata dalla collaborazione con J. Craig Venter, che ha messo a disposizione del progetto Men B macchinari velocissimi per il sequenziamento genico. Questi macchinari sono collegati a potenti computer che confrontano fra loro geni e proteine dei diversi ceppi del batterio, in cerca delle parti più conservate e antigeniche (*si veda l'illustrazione a p. 64*).

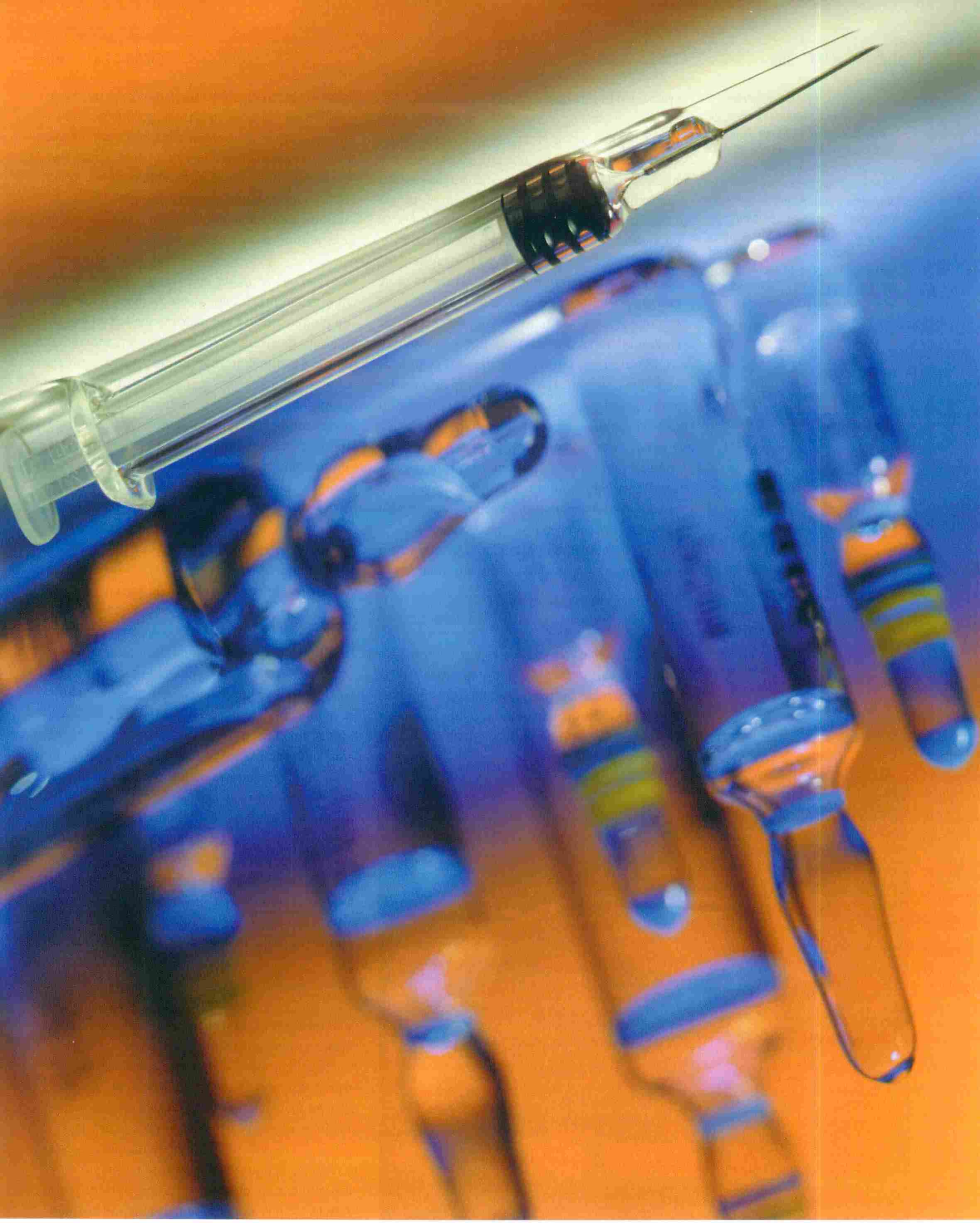
Il vaccino universale, efficace contro tutti gli 80 ceppi del meningococco B, ha terminato la sperimentazione clinica, e ora ha iniziato il processo di registrazione presso l'Agenzia europea per i medicinali (European Medicines Agency).

In seguito al successo contro il meningococco B, la reverse vaccinology si è diffusa rapidamente nei laboratori di vaccinologia di tutto il mondo, per i quali rappresenta in un certo senso la salvezza e l'avvenire. L'innovazione in vaccinologia era infatti bloccata da una ventina d'anni, dopo che il principio di sviluppo sfruttato nel corso del XX secolo aveva esaurito le sue potenzialità e mostrato qualche limite.

«Isola il germe, uccidilo, iniettalo» è stato il principio ideato da Louis Pasteur alla fine dell'Ottocento e usato per produrre i fondamentali vaccini contro la poliomielite, il vaiolo e le altre malattie infettive che abbiamo sconfitto. Il principio però funzionava solo contro microrganismi stabili. Era invece impotente contro patogeni mutevoli, come il meningococco B o il virus dell'influenza, la cui strategia evolutiva «trasformista» permette loro di sfuggire ai meccanismi di riconoscimento del sistema immunitario.

A causa del basso potere di risoluzione molecolare, il principio di Pasteur poteva produrre solo vaccini contenenti l'intero microrganismo patogeno, a volte vivo attenuato. L'attenuazione è una tecnica di laboratorio che indebolisce un microrganismo, facendogli perdere la virulenza, ma non la capacità di riprodursi debolmente e di provocare una risposta da parte del sistema immunitario, come nel caso della maggior parte dei preparati antivirali, tra cui il vaccino contro il vaiolo o l'anti-polio Sabin, che contengono proprio il virus vivo attenuato. Questi due vaccini hanno salvato milioni di vite umane, ma hanno anche causato

Ocean/Corbis



qualche problema dal punto di vista della sicurezza. Il vaccino Sabin, per esempio, poteva provocare la malattia che doveva prevenire in un caso su circa tre milioni di dosi.

Per fortuna dal punto di vista della sicurezza abbiamo fatto enormi passi avanti. Anche nel caso dei virus, la reverse vaccinology permette di progettare vaccini scegliendo le parti dell'involucro virale che il sistema immunitario riconosce meglio e scartando tutto quello che può costituire un pericolo per la salute.

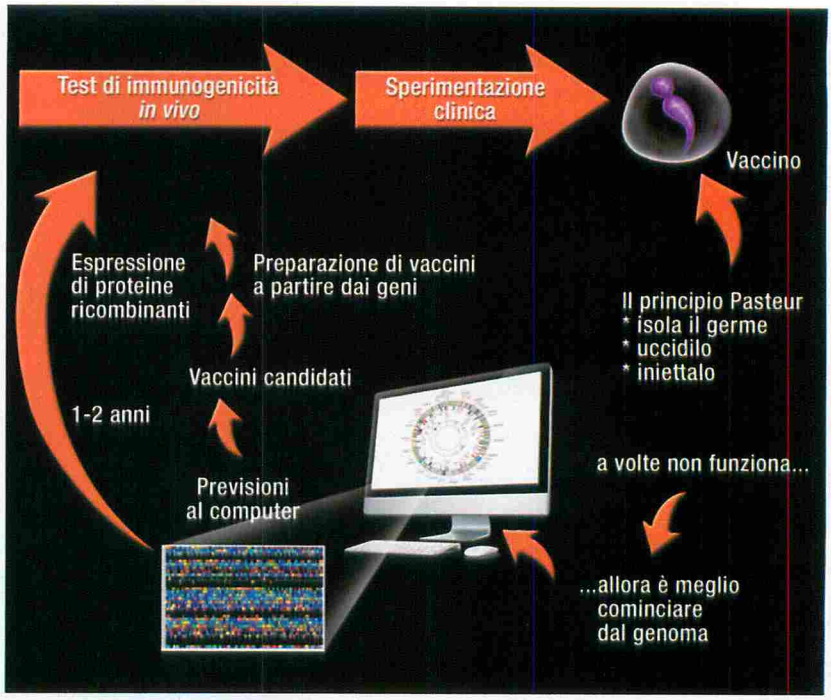
## Il ruolo degli adiuvanti

Non sempre gli antigeni di un vaccino attirano a sufficienza l'attenzione delle cellule del sistema immunitario. Per superare questo problema si può aggiungere un adiuvante, cioè una sostanza che aumenta la capacità degli antigeni di farsi riconoscere dal sistema immunitario.

I vaccini per l'uomo possono impiegare due tipi di adiuvanti. Il primo è un sale di alluminio (idrossido di alluminio o fosfato di alluminio), introdotto nel 1924 e usato nel secolo scorso. Il secondo, uscito dai laboratori di Siena, è indicato con la sigla MF59 ed è stato registrato nel 1997. Quando MF59 – un'emulsione di una nanoparticella d'olio in acqua – è iniettato nel muscolo insieme all'antigene, crea una microinfiammazione in grado di attirare cellule e molecole necessarie a presentare in modo efficace l'antigene al sistema immunitario.

L'olio di cui è composto MF59 è lo squalene, una sostanza biodegradabile che si trova in gran parte degli organismi viventi, dalle piante all'uomo. Nel processo di produzione industriale lo squalene si purifica dall'olio di fegato degli squali. Nel nostro organismo, lo squalene partecipa alla biosintesi del colesterolo, e proprio per la sua compatibilità con l'organismo umano è ampiamente usato nei cosmetici. Unico nuovo adiuvante approvato in Europa prima dell'anno 2000, MF59 è considerato molto sicuro, e dal 1997 è stato somministrato insieme ai vaccini antinfluenzali in oltre 45 milioni di persone. La fiducia nella sicurezza di MF59 ha spinto l'Agenzia europea per i medicinali ad approvare il vaccino senese contro l'influenza A del 2009, contenente proprio MF59, anche per l'uso sotto i tre anni di età.

La rivoluzione genomica e la disponibilità di adiuvanti sicuri hanno quindi aumentato enormemente la possibilità di creare nuovi vaccini. Queste conquiste sono importanti per i vaccini contro i virus, visto che nella migliore delle ipotesi le attuali terapie antivirali sono in grado di contenere infezioni croniche. I farmaci sono inoltre continuamente esposti al rischio di diventare inefficaci, nel caso




i virus sviluppino resistenze. Infine le conseguenze a medio e lungo termine delle infezioni virali non sono da sottovalutare: basti ricordare che circa il 20 per cento dei tumori umani è riconducibile a un'infezione virale (*si veda l'articolo a p. 66*).

## Risposte più rapide alle minacce pandemiche

La genomica non serve soltanto a progettare, ma anche ad aumentare la reattività agli eventi avversi. Dal punto di vista della velocità di reazione, l'ultima pandemia influenzale è stata il banco di prova dei progressi compiuti fino a oggi, con vaccini pronti in meno di sei mesi dall'irrompere dell'epidemia sui mezzi di comunicazione, ad aprile 2009. Oggi sappiamo che i tempi si possono ridurre ulteriormente. Per esempio è possibile creare librerie di vaccini sintetici contro i ceppi che secondo i modelli matematici hanno maggiore probabilità di diffondersi e di infettare la popolazione. (I modelli elaborano previsioni sulla base dell'esperienza pregressa e sull'analisi delle relazioni evolutive fra i genomi dei principali ceppi circolanti).

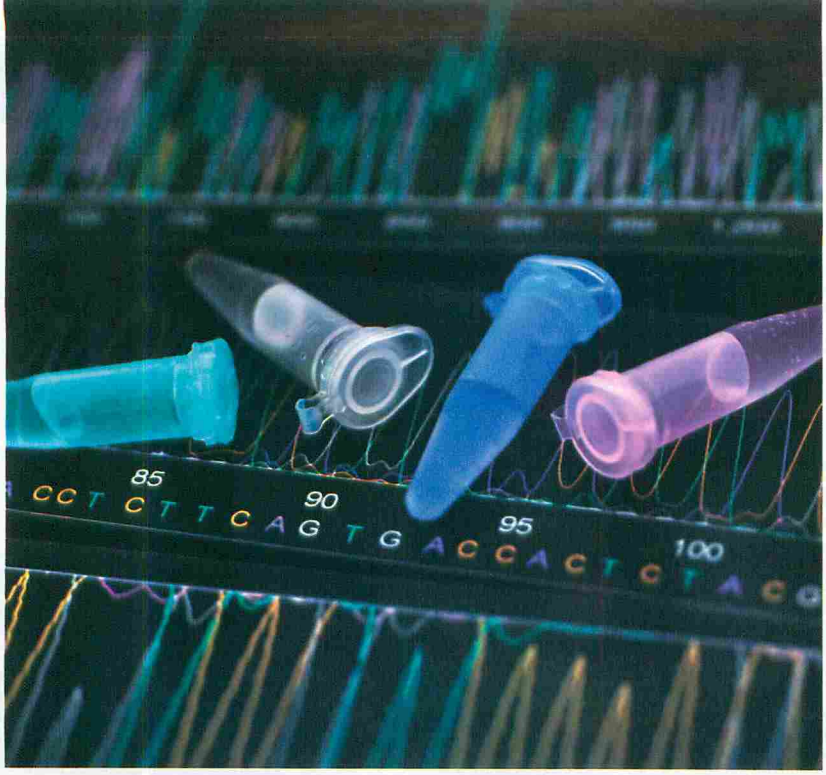
Ciascuno stock di vaccino potrebbe passare immediatamente alla fase di produzione, nel caso in cui un ipotetico pericolo dovesse concretizzarsi. I risultati delle previsioni potranno essere ancora più accurati via via che le tecniche genomiche e bioinformatiche si diffonderanno in maniera capillare nella rete globale di sorveglianza epidemiologica.

Un'ulteriore opportunità è costituita dalla cosid-

Elisa Botton (*in alto*); Matt York/AP Photo/La Presse


**GLI AUTORI**

RINO RAPPUOLI è direttore scientifico di Novartis Vaccines, nel 2009 ha ricevuto la Medaglia d'oro Albert B. Sabin, il massimo riconoscimento nel campo della vaccinologia. LISA VOZZA, biologa e divulgatrice scientifica, è *scientific officer* dell'Associazione italiana per la ricerca sul cancro. Il loro libro *I vaccini dell'era globale* (Zanichelli, Bologna, 2009) ha vinto la quarta edizione del premio Galileo per la divulgazione scientifica.




POTENZA DELLA SEQUENZA. La chiave della reverse vaccinology è il sequenziamento dei ceppi di un patogeno per confrontare geni e proteine in modo da scoprire le parti più antigeniche e conservate.

DOLOROSA MA EFFICACE. Ancora oggi molti genitori diffidano delle vaccinazioni, spesso dando credito a informazioni senza alcuna autorevolezza, a fronte dell'efficacia e della sicurezza dimostrate da numerosi vaccini.

Kevin Curtis/SPL/Contrasto

detta vaccinologia strutturale, cioè dalla possibilità di conoscere la struttura tridimensionale delle proteine virali e batteriche e di modificarne l'aspetto con l'ingegneria genetica.

Grazie a queste proteine dalle capacità antigeniche migliorate, il sistema immunitario sarà in grado di riconoscere non solo il ceppo da cui si è partiti per progettare il vaccino, ma anche tutti gli altri in circolazione. Questa è una delle strategie che potrebbero portare alla produzione di vaccini universali contro i maggiori virus trasformisti, quello dell'influenza e l'HIV.

## Più fiducia nelle vaccinazioni

Il numero degli abitanti della Terra è sempre più vicino a sette miliardi, un traguardo che sarebbe stato difficile da immaginare senza il contributo dei vaccini. Ma c'è ancora molto da fare. Vecchie e nuove infezioni minacciano la società che invecchia nel mondo occidentale, e si stima che 24 milioni di bambini dei paesi poveri non siano vaccinati contro malattie prevenibili. Iniziative come la Global Alliance for Vaccines and Immunisation e la Bill & Melinda Gates Foundation stanno contribuendo allo sviluppo e alla fornitura di vaccini per i paesi meno sviluppati.

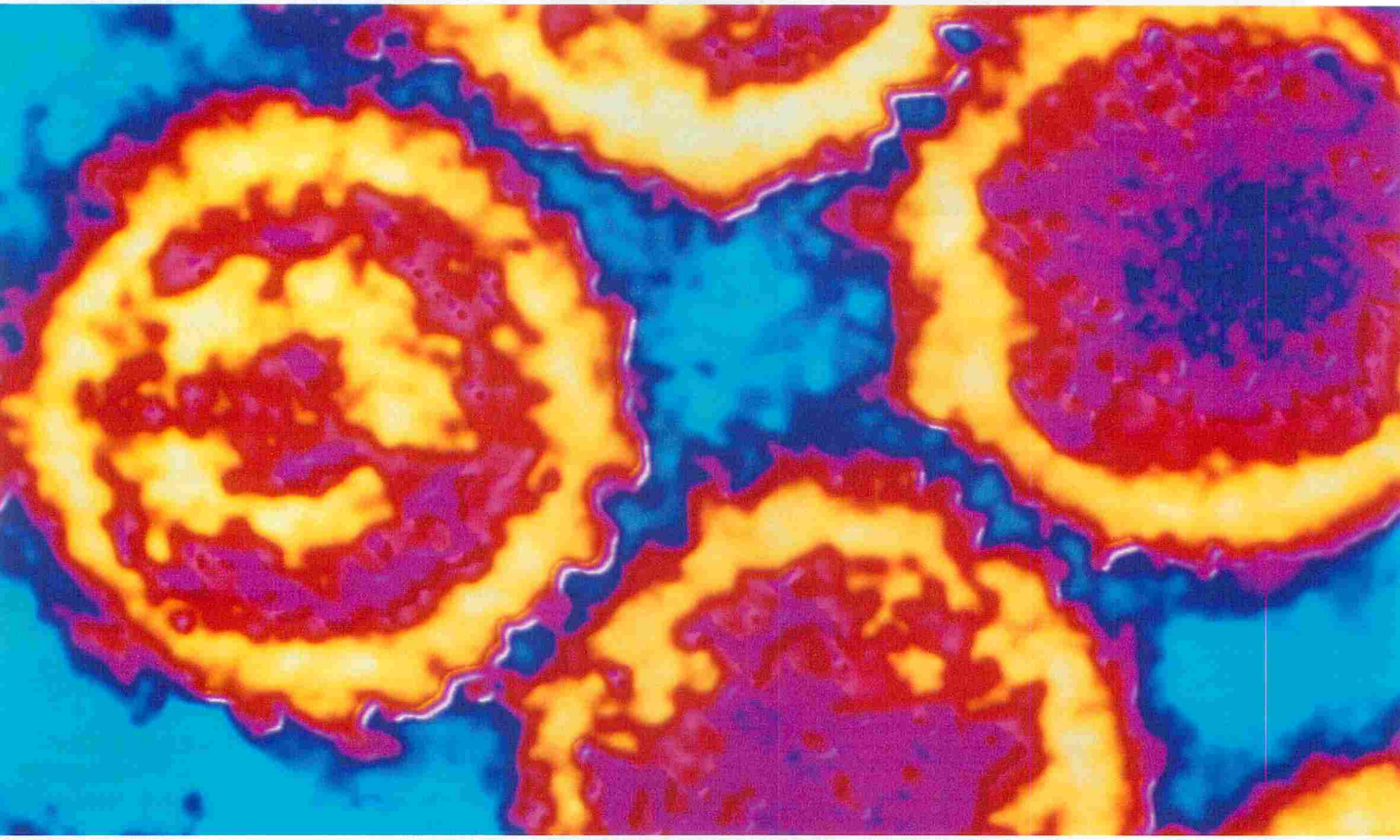
Nei paesi occidentali l'adesione a vaccini recenti molto utili, come quello contro il papillomavirus umano, è limitata dal timore di possibili effetti collaterali, timore ancora vivo in gran parte della popolazione nonostante i notevoli progressi compiuti. Una grave crisi di sfiducia si è verificata alla fine degli anni novanta, quando le persone sono state indotte a credere che alcune vaccinazioni potessero causare l'autismo. A dieci anni da quei fatti, che si sono rivelati fraudolenti e criminosi, centinaia di studi autorevoli non hanno individuato alcuna associazione fra i vaccini e autismo. Ma l'opinione pubblica ha ancora bisogno di rassicurazioni. Perché?

Le ragioni sono complesse e numerose. Misurare rischi e benefici è difficile e spesso controintuitivo per il cervello umano. I microrganismi, invisibili a occhio nudo, eludono i nostri sensi, e molte persone considerano le vaccinazioni una spiacevole procedura invasiva. In più, i vaccini sono prodotti dalle aziende farmaceutiche e approvati dai governi, due fra i protagonisti principali di tante teorie della cospirazione. I mezzi di informazione in genere amplificano notizie non verificate di scandali e paure. Infine, il successo dei vaccini ha cancellato la memoria delle morti, delle sofferenze e delle disabilità provocate dalle malattie infettive.

Al numero sempre più esiguo di bambini che nascono in molti paesi sviluppati, e non solo, i genitori non sono disposti a far correre alcun rischio. L'esigenza è comprensibile e, da questo punto di vista, i nuovi vaccini del XXI secolo offrono una delle migliori risposte possibili. Bisogna però aiutare le persone a vincere paura, confusione e incertezza. Affinché i nuovi vaccini siano un'assicurazione sulla salute a ottime condizioni di mercato, e non restino inutilizzati nei centri vaccinali, occorre uno sforzo comune di medici, scienziati, giornalisti, educatori e istituzioni per costruire una nuova, duratura fiducia negli effetti positivi delle vaccinazioni. ■

# Quando i virus

di Lisa Vozza e Luigi Chieco-Bianchi



PRIMO DELLA LISTA. Il Virus di Epstein-Barr, o EBV (*in giallo*), in una microfotografia elettronica a trasmissione. È stato il primo virus *oncogeno umano* a essere identificato. Le macchie rosse al centro delle particelle virali rappresentano il DNA del virus.

Pasieka/SPL/Contrasto

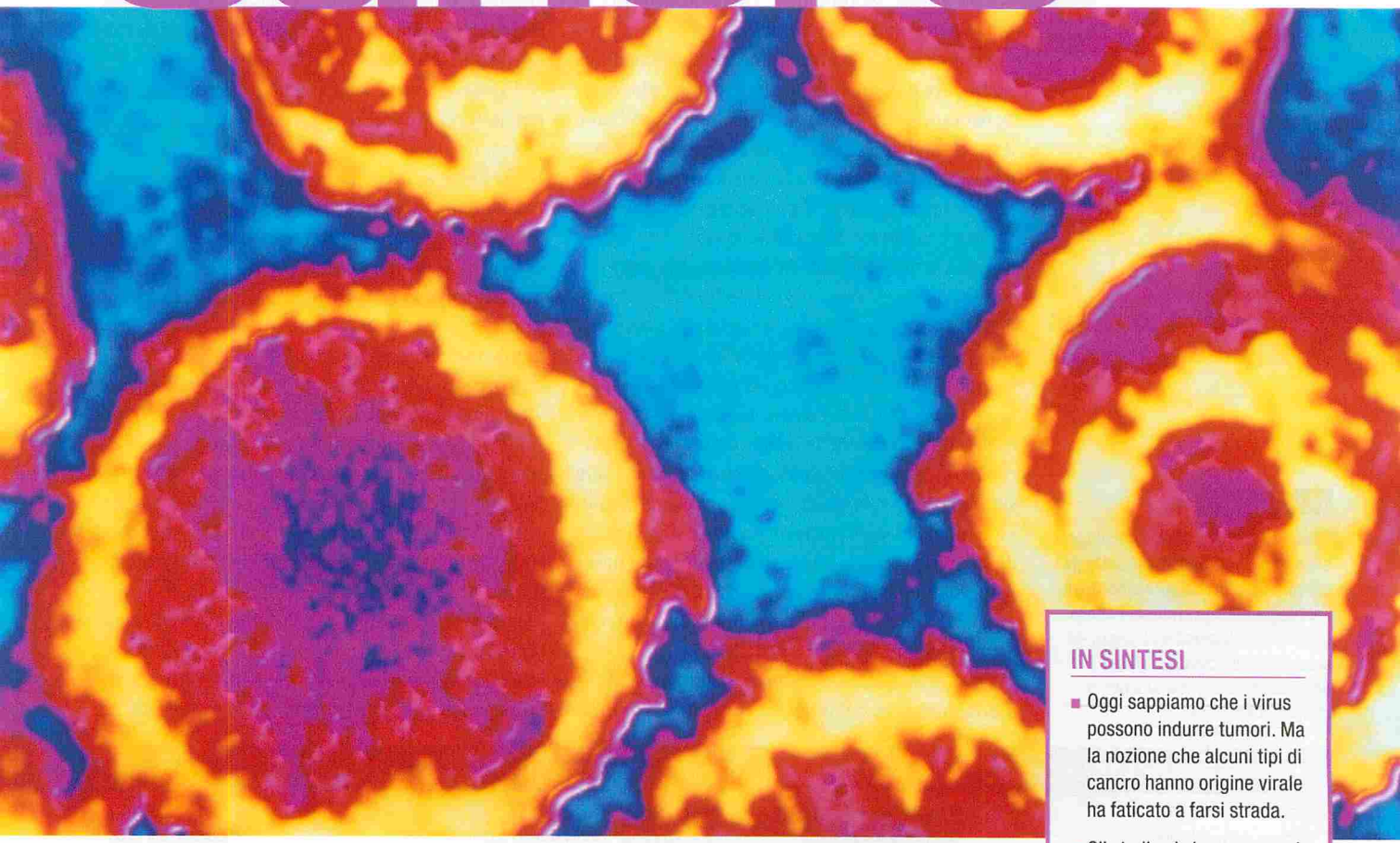
Un tumore umano su cinque ha origine infettiva. Per definire questa frazione ci è voluto oltre un secolo di studi e ricerche che hanno alternato momenti fervidi e convulsi a lunghe pause di incertezza e scetticismo. La nozione che, in alcuni casi, i tumori potessero essere malattie trasmesse da un agente infettivo ha faticato a farsi strada.

Malgrado le fasi alterne, da queste ricerche sono arrivati alcuni fra i più straordinari risultati della storia dell'oncologia sperimentale, con un emergere di conoscenze che è andato ben oltre l'individuazione dei principali virus in grado di causare tumori. Senza queste ricerche, oggi non potremmo dire che il cancro è una malattia dei geni, né che un tumore deriva da un'unica cellula. Non avremmo elaborato il concetto di oncogène e non conosceremmo alcune fra le principali molecole implicate nella perdita di regolazione cellulare tipica dei tumori. E infine non disporremmo di strumenti di prevenzione in grado di difenderci da due forme di cancro molto comuni.

Se questi studi hanno costruito buona parte dell'armatura concettuale e sperimentale di quello che oggi sappiamo sulla biologia del cancro, non è da meno la scia di Nobel che ha premiato gli artefici di queste scoperte, da Peyton Rous a Baruch Blumberg, Renato Dulbecco, Howard Temin, Da-

# inducono il cancro

**La scoperta di tumori causati da virus è stata fondamentale sia per la biologia sia per la prevenzione di queste malattie**



**IN SINTESI**

- Oggi sappiamo che i virus possono indurre tumori. Ma la nozione che alcuni tipi di cancro hanno origine virale ha faticato a farsi strada.
- Gli studi sui virus oncogeni hanno portato a risultati fondamentali. Per esempio, grazie a queste ricerche si può dire che il cancro è una malattia dei geni e che deriva da un'unica cellula. E si è elaborato il concetto di oncogène.
- Questi risultati sono stati fondamentali non solo per la biologia dei tumori ma anche per la prevenzione di alcuni tipi di cancro, grazie allo sviluppo di vaccini.

vid Baltimore, Harold Varmus e J. Michael Bishop, fino ad Harald zur Hausen. E altri ne verranno di certo. Proviamo a ripercorrere la storia di queste vicende.

## Una nuova disciplina

Nel 1911 Peyton Rous, al Rockefeller Institute di New York, scopre che un virus è in grado di causare un tumore dei polli. Il cancro è una malattia descritta fin dall'antichità, ma la nozione che possa essere una malattia infettiva è una novità assoluta (in realtà c'erano state precedenti avvisaglie da studi in Italia e in Danimarca, che però non avevano raggiunto una eco sufficiente). Con la scoperta di quello che sarà poi chiamato virus del sarcoma di Rous (Rous sarcoma virus, RSV), il medico statunitense fonda una nuova disciplina, e la caccia ad altri virus oncogeni è aperta.

Negli anni venti, tuttavia, un'altra malattia animale apparentemente tumorale è attribuita a un parassita invece che, correttamente, a una carenza alimentare. L'errore costa caro: l'associazione fra agenti infettivi e cancro perde il favore della comunità scientifica, già parecchio scettica, e lo studio sui virus che causano il cancro entra in un lungo letargo. Dovrà passare oltre mezzo secolo prima che Rous possa ricevere il meritato premio Nobel per la medicina o la fisiologia.

Arriviamo così agli anni sessanta. Nel laboratorio di Renato Dulbecco, al California Institute of Technology di Pasadena, Howard Temin e Harry Rubin scoprono che l'infezione con RSV di fibroblasti di pollo in coltura trasforma le cellule in modo simile a quello che si osserva nei sarcomi animali. Temin e Rubin capiscono che il processo di sviluppo di un tumore, o trasformazione, è una malattia delle cellule che può essere indotta *in vitro* e osservata al microscopio. Sempre in questi esperimenti, Temin e Rubin notano che il cancro ha origine da un'unica cellula progenitrice in grado di trasmettere le caratteristiche tumorali, per esempio il cambiamento di forma e la capacità di proliferare indefinitamente, alle cellule figlie.

Gli esperimenti di Temin e Rubin determinano il risveglio di questo settore di ricerca, e le domande a cui gli scienziati cercano di dare risposte sono tante e importanti. Ci si chiede, per esempio, se il carattere tumorale delle cellule trasformate dipenda dalla continua presenza del virus. Un ingegnoso esperimento, eseguito nel 1970 all'Università della California a Berkeley, chiarisce la questione. Un virus RSV mutante sensibile alla temperatura, in grado di trasformare le cellule in vitro alla temperatura di 37 gradi Celsius, ma non a 41, è usato per dimostrare che le cellule assumono l'aspetto tumorale solo a 37 gradi, mentre ritornano allo stato normale a 41 gradi. In altre parole, il mantenimento dello stato trasformato non è una vicenda da «colpisci e corri» (mutuando il gergo del baseball), ma richiede presenza e attività continua del virus e la sua capacità di perpetuarsi nella discendenza cellulare.

Negli stessi anni si sviluppano i primi test di tumorigenicità, in cui cellule estratte da un animale e trasformate in vitro sono usate per indurre un tumore in un animale dello stesso ceppo, evitando il rigetto da parte del sistema immunitario.

## Il primo virus tumorale umano

Torniamo indietro di un decennio. Verso gli anni sessanta la lista dei virus in grado di provocare tumori si è ormai allungata; non ci sono solo virus a RNA, come l'RSV, ma anche virus a DNA, come i papovavirus, gli adenovirus, gli herpesvirus e i poxvirus, e gli animali soggetti a queste malattie non si limitano più agli uccelli, ma comprendono anche diversi mammiferi. Così si diffonde l'idea che anche gli esseri umani possano essere coinvolti.

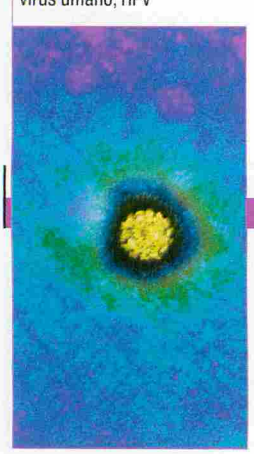
I virus oncogeni sono di nuovo al centro dell'attenzione, al punto che il governo degli Stati Uniti lancia, nel 1964, lo Special Virus Cancer Program. Nello stesso anno Anthony Epstein e Yvonne Barr individuano al microscopio elettronico particelle di un virus della famiglia degli herpes in cellule derivate dal linfoma di Burkitt, un tumore pediatrico endemico in Africa orientale e descritto per la prima volta negli anni cinquanta dal medico britannico Dennis Burkitt.

Il virus di Epstein-Barr (EBV) è dunque il primo virus oncogeno umano a essere identificato, e presto si scopre che oltre il 90 per cento degli esseri umani adulti è abitualmente contagiato e risulta positivo al test per la presenza di anticorpi contro questo virus. Però soltanto una piccolissima frazione degli individui infetti sviluppa il linfoma di Burkitt. Questa osservazione chiarisce che generalmente i virus agiscono come fattori necessari ma non sufficienti allo sviluppo del cancro, un processo che, come oggi sappiamo, è dovuto al cumulo di numerosi eventi. In Africa orientale, per esempio,


**GLI AUTORI**

LUIGI CHIECO-BIANCHI è oncologo, esperto di immunologia e virologia dei tumori, e professore emerito di oncologia all'Università di Padova. LISA VOZZA, biologa e divulgatrice scientifica, è *scientific officer* dell'Associazione italiana per la ricerca sul cancro.


## Breve cronologia della virologia dei tumori



1907
Scoperta del papilloma virus umano, HPV

1933
Scoperta del papillomavirus del coniglio selvatico (CRPV)

1935
Induzione di carcinoma nei conigli domestici mediante CRPV: primo oncovirus a DNA

1951
Scoperta del virus della leucemia murina

1953
Scoperta del poliomavirus del topo

1910 | 1920 | 1930 | 1940 | 1950

1911
Peyton Rous scopre il virus del sarcoma dei polli (RSV): è il primo oncovirus

1936
Scoperta del tumore mammario nel topo

1953-54
Scoperta degli adenovirus umani

Visuals Unlimited/Corbis (*papilloma virus*); Emma Hopson/iStockphoto (*conigli*); AP Photo/la Presse (*Peyton Rous*); Brandon Laufenberg/iStockphoto (*topi*)

la concomitante infezione malarica, lo stato nutrizionale carente e un sistema immunitario debilitato possono concorrere a rendere più probabile la proliferazione tumorale scatenata dall'EBV.

Nel 1994 salirà alla ribalta un virus strettamente imparentato con l'EBV, grazie all'isolamento da parte di Yuan Chang e Patrick Moore del KSHV, il virus responsabile del sarcoma di Kaposi, tristemente associato all'epidemia di AIDS. Oggi il virus è considerato il fattore causale di questo sarcoma, al cui sviluppo contribuisce tuttavia anche la concomitante infezione da HIV, dato il suo ruolo immunosoppressivo sul sistema immunitario.

Anche per i virus a DNA sembra necessaria la continua presenza di molecole virali per mantenere la trasformazione cellulare. In che modo, però, i virus siano in grado di effettuare questa trasformazione e trasmetterla alle cellule figlie è, quasi alla fine degli anni sessanta, ancora un mistero. Nel 1968 si scopre che in cellule trasformate il DNA di SV40 (un papovavirus isolato originariamente in cellule di scimmia) è associato al DNA dei cromosomi della cellula, e non può essere separato da questi con nessun trattamento. Di fatto il DNA virale è integrato in un cromosoma dell'ospite. Anni dopo si chiarirà che questo meccanismo di integrazione è essenziale allo sviluppo del tumore della cervice uterina, causato da alcuni ceppi del papillomavirus umano, parente stretto del virus SV40.

## Virus a RNA nel genoma cellulare

Se per i virus a DNA si è fatta un po' di chiarezza, i meccanismi con cui i virus a RNA trasformano le cellule sono ancora sconosciuti. Alla fine degli anni sessanta Howard Temin propone un'ipotesi fantasiosa: una volta entrato in una cellula, un virus a RNA potrebbe produrre una copia di DNA a doppio filamento del proprio materiale genetico; questa copia sarebbe quindi integrata nel genoma della cellula ospite, assumendo il nome di provirus. Da qui, il provirus potrebbe essere duplicato e trasmesso alle cellule figlie, oltre che trascritto in RNA per costruire nuove particelle virali.

La proposta va contro il dogma che l'informazione biologica fluisca in un'unica direzione, dal DNA all'RNA, alle proteine. Ma quell'idea bizzarra, respinta con forza dalla comunità scientifica, è confermata nel 1970, quando Howard Temin e David Baltimore scoprono in maniera indipendente che nell'RSV e in altri virus simili c'è un enzima, la trascrittasi inversa, in grado di trascrivere l'RNA in DNA a doppio filamento. Il comitato per l'assegnazione dei Nobel è al lavoro.

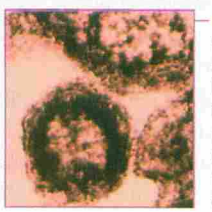
I virus a RNA che si comportano in questo modo prendono il nome di retrovirus, termine adottato per riflettere la direzione inversa dell'informazione dall'RNA al DNA. Fra virus a DNA e retrovirus emerge una differenza fondamentale: mentre per i retrovirus l'integrazione nel DNA dell'ospite è una tappa obbligata del ciclo di replicazione virale, nel caso dei virus a DNA l'inserimento nel cromosoma dell'ospite è un evento facoltativo, e anche molto raro.

## Gli oncogèni cellulari

Il genoma dei retrovirus è in genere molto piccolo, spesso limitato a meno di una decina di geni. Grazie all'uso di mutanti, la genetica individua facilmente, nel caso di RSV, i geni necessari alla replicazione virale; tutto ciò che rimane fuori, nel caso in questione il gene *src*, è candidato a essere implicato nella trasformazione.

**Per i virus a RNA, come l'HIV, l'integrazione nel DNA dell'ospite è un evento obbligato per la replicazione, mentre per i virus a DNA è raro e facoltativo**

Paul Sakuma/AP Photo/stf/La Presse (*Harold E. Varmus, e J. Michael Bishop*)



**1960**
Scoperta del simian virus 40 (SV40)

**1962**
L'adenovirus umano induce tumori nei criceti; è il primo virus umano con proprietà oncogene

**1965**
Scoperta del virus di Epstein-Barr e sua associazione con il linfoma di Burkitt; è il primo oncovirus umano

**1967-1968**
Scoperta del virus dell'epatite B (HBV)

**1970**
Scoperta della trascrittasi inversa

**1974-1976**
Harald zur Hausen individua il ruolo dell'infezione da HPV nel tumore alla cervice

**1976**
J. Michael Bishop e Harold Varmus scoprono l'origine cellulare degli oncogèni retrovirali

Sviluppo del vaccino contro l'epatite B; è il primo in grado di prevenire un tumore umano

**1979**
Scoperta dell'oncosoppressore p53

**1980**
Scoperta del virus della leucemia dei linfociti T: è il primo retrovirus tumorale umano

**1991-93**
Sviluppo del vaccino contro HPV/tumore alla cervice

**1994**
Scoperta del virus del sarcoma di Kaposi (KSHV)

**1996-2008**
Emerge la possibile associazione di vari polyomavirus con i tumori umani

**2006**
Approvazione dell'uso clinico del primo vaccino contro l'HPV per la prevenzione del tumore alla cervice

1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000

**La ricerca sui virus oncogeni ha portato a nuove conoscenze sulla biologia dei tumori e a vaccini con cui prevenire alcuni tipi di cancro**

Nel 1974 Michael Bishop e Harold Varmus mettono alla prova questa ipotesi, costruendo una sonda per trovare il gene *src* e seguirne il percorso all'interno delle cellule infette. L'idea è che le cellule non infette non debbano avere *src*. Con grande sorpresa i due ricercatori dell'Università della California a San Francisco trovano sequenze molto simili a *src* nel DNA di cellule di pollo non infettate da RSV. E non finisce qui: sequenze simili a *src* sono comuni a molte specie animali, dagli uccelli ai mammiferi, con differenze tracciabili su un albero evolutivo molecolare.

In altre parole, *src* è un gene altamente conservato: nella forma in cui si trova nel genoma di molte specie animali (c-*src*) è compatibile con la vita normale e non cancerosa delle cellule, mentre la forma virale (v-*src*) è un potente oncogène. Ma quale delle due forme si è evoluta prima? La scoperta che il virus della leucosi aviaria (ALV), retrovirus antesignano di RSV, è privo del gene v-*src* aiuta a sciogliere l'arcano: RSV si è modificato rispetto ad ALV, «sequestrando» un gene cellulare che, in seguito a qualche mutazione, è diventato capace di trasformare le cellule.

In realtà la lezione di questa scoperta è ancora più profonda, perché fa intuire che lo stesso gene cellulare c-*src* può essere convertito in un oncogène in seguito a mutazioni da parte di agenti di varia natura che lo rendano simile a v-*src* o comunque diverso dall'originale. Per la potenzialità di trasformarsi in un oncogène, c-*src* inaugura la categoria dei cosiddetti proto-oncogèni. Il Nobel a Bishop e Varmus non tarderà molto.

La corsa all'oncogène è cominciata. La lista dei proto-oncogèni riconosciuti a partire dalla presenza di un oncogène virale in un retrovirus si allunga, fino agli oltre 70 di oggi. Fra i primi ad aggiungersi, l'oncogène *myc*, individuato in versione v-*myc* nel virus della mielocitomatosi del pollo; *fes*, nel virus della leucemia felina; e i due oncogèni H-*ras* e K-*ras*, in un virus ibrido della leucemia del ratto e del topo. Sempre dagli studi sulla relazione fra virus oncogèni e ambiente cellulare emergeranno anche p53 e retinoblastoma (Rb), due fra i principali oncosoppressori dei tumori umani. Buona parte dei proto-oncogèni e degli oncosoppressori identificati hanno funzioni chiave nel controllo della proliferazione cellulare e dell'apoptosi (il processo di morte cellulare programmata).

## Retrovirus a trasformazione lenta

Nella categoria dei retrovirus oncogeni ci sono anche virus che, diversamente dai retrovirus dotati di oncogèni virali, sono molto diffusi in natura, e sebbene non portino nel genoma un oncogène riescono comunque a indurre lo sviluppo di un tumore, anche se più lentamente. Come fanno? La risposta arriva nel 1981, dallo studio del genoma di cellule di pollo infettate e trasformate da ALV, cioè il virus privo di oncogène *src* da cui si è evoluto RSV.

Si scopre che le cellule trasformate da ALV portano sempre una copia del provirus integrata nel genoma. Il punto in cui un provirus si integra nel genoma cellulare è casuale. Tuttavia nell'80 per cento dei genomi delle cellule leucemiche trasformate da ALV, il provirus è sempre integrato nel DNA in una posizione adiacente al proto-oncogène c-*myc*. Questo proto-oncogène passa così sotto il controllo della macchina di replicazione virale, assumendo un comportamento trasformante analogo a quello dell'oncogène v-*myc*, individuato nel frattempo in un altro retrovirus aviario. A questo processo di inserzione casuale, cui segue l'attivazione di proto-oncogèni, viene dato il nome di mutagenesi inserzionale.

Alle due classi di retrovirus oncogeni, lenti e veloci, si aggiunge nel 1980 un'ulteriore categoria, quando Robert Gallo scopre HTLV-1. Si tratta del primo retrovirus tumorale umano, individuato come causa di una forma di leucemia in circa l'1 per cento degli abitanti di Kyushu, un'isola del Giappone. Il virus non contiene oncogèni nel genoma, ma il suo potere trasformante sembra riconducibile al gene virale *tax*, il cui prodotto genico è allo stesso tempo un fattore essenziale per la replicazione del virus e un attivatore di alcuni fattori di crescita cellulare. A loro volta, questi fattori possono condurre a una proliferazione incontrollata di diversi tipi di cellule del sangue.

## Prevenire i tumori indotti da virus

La storia della ricerca sui virus oncogeni non si è limitata ad accumulare conoscenze di base sulla biologia dei tumori. Lo sviluppo di due vaccini e di altri sistemi capaci di prevenire due tumori molto diffusi indotti da virus sono traguardi notevoli.

Il primo vaccino è stato sviluppato alla fine degli anni settanta, contro l'epatite B, da Maurice Hilleman e colleghi al Merck Institute for Vaccinology di West Point, in Pennsylvania. È il primo vaccino in grado di prevenire lo sviluppo di un tumore umano, il carcinoma epatocellulare, che deriva nella maggior parte dei casi dall'infezione cronica da virus dell'epatite B (HBV). Si stima che nel mondo ci siano circa 350 milioni di portatori cronici di questo virus, e l'infezione è associata a un aumento del rischio di sviluppare il tumore di 100 volte rispetto a chi non è infetto. La relazione fra l'HBV e questo tumore è messa in evidenza negli

## NUMERI VIRALI

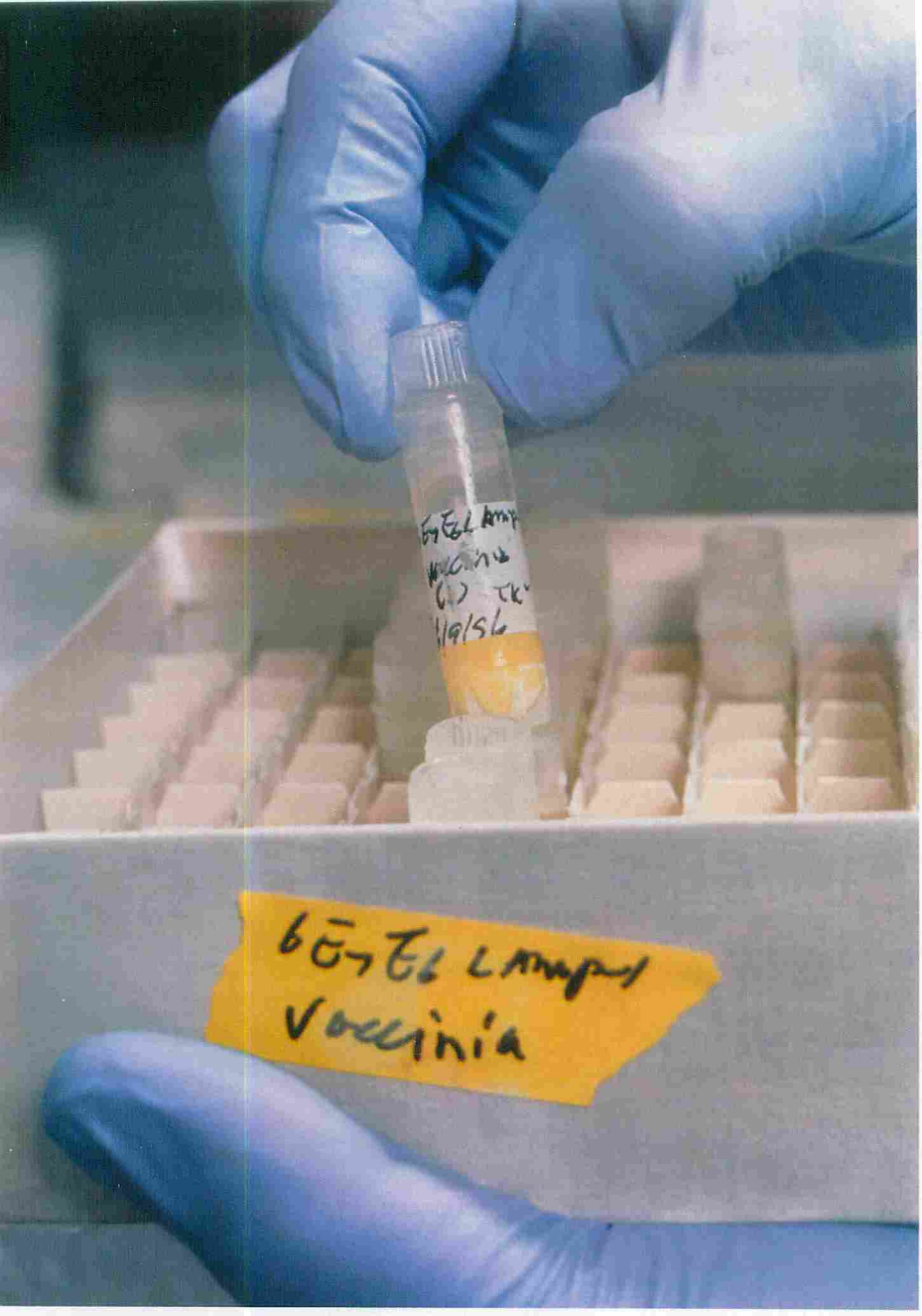
**I virus che nell'uomo possono indurre tumori sono diversi, come diversa è la loro diffusione nella popolazione. Ecco i principali, con i dati dell'Organizzazione mondiale della Sanità.**

**PAPILLOMA VIRUS UMANO (HPV)**
La prevalenza globale delle infezioni ai genitali causate da questo virus è 440 milioni di casi. Ogni anno l'HPV provoca 500.000 casi di cancro alla cervice uterina.

**VIRUS DI EPSTEIN-BARR (EBV)**
Si stima il 90 per cento della popolazione mondiale sia infettato da questo virus. Ma solo una piccolissima percentuale di individui infetti sviluppa i tumori associati all'EBV, tra cui il linfoma di Burkitt.

**VIRUS DELL'EPATITE B (HBV)**
Circa due miliardi di persone sono infettate dall'HBV, da 50 a 100 volte più infettivo dell'HIV. Il virus HBV può indurre cancro al fegato.

**VIRUS DELL'EPATITE C (HCV)**
Si stima che il 3 per cento della popolazione mondiale, 170 milioni di persone, sia infettato dall'HCV, e che ogni anno si verifichino tra 3 e 4 milioni di nuove infezioni. L'HCV può indurre carcinoma epatocellulare.




David Parker/SPL/Contrasto

PROTEZIONE FACILE E IMMEDIATA. Fiale di vaccino per il cancro alla cervice uterina, che in sette casi su dieci è provocato da HPV 16 e HPV 18, due ceppi del papilloma virus umano.

anni settanta da Baruch Blumberg, dell'Institute for Cancer Research di Philadelphia, il principale studioso di questo virus. Per i suoi studi, Blumberg otterrà il premio Nobel nel 1976.

Dagli studi sull'epatite B emerge negli anni settanta un'altra forma della malattia epatica che non è indotta dall'HBV e si trova soprattutto in individui che hanno ricevuto sangue trasfuso. Sebbene lieve in apparenza, questa infezione tende a diventare cronica e in alcuni casi associata al carcinoma epatocellulare. Il virus responsabile, non coltivabile *in vitro*, è isolato nel 1989 da Michael Houghton e Harvey Alter, rispettivamente alla Chiron Corporation e ai National Institutes of Health. Si chiamerà virus dell'epatite C (HCV), un agente da cui si stima che siano infettate nel mondo oltre 170 milioni di persone. Sebbene contro l'HCV non sia ancora disponibile un vaccino, Houghton e Alter mettono a punto un metodo di *screening* del sangue che riduce a zero il rischio di contrarre l'epatite da trasfusione (nel 1970 questo rischio era di circa il 30 per cento). Per queste scoperte meriteranno il premio Lasker nel 2000.

Il secondo vaccino antitumorale è contro i ceppi 16 e 18 del papillomavirus umano (HPV). Questi due ceppi provocano circa il 70 per cento dei tumori della cervice uterina, una malattia che è la terza causa di morte da cancro per le donne a livello mondiale. Anche se recente, la storia del vaccino ha radici antiche. Gli studi sui papillomavirus risalgono ai primi del Novecento, quando Giuseppe Ciuffo dimostra la trasmissione di verruche nell'uomo tramite filtrati acellulari; la capacità di causare tumori di questi virus è poi confermata dalle ricerche di Richard Shope sui conigli, negli anni trenta. Nel 1974 Harald zur Hausen propone che l'HPV sia l'agente causale del carcinoma della cervice umana, contro l'opinione comune dell'epoca, secondo cui la causa di questa malattia era l'*Herpes simplex* di tipo 2. Malgrado l'accoglienza gelida, zur Hausen non si scoraggia, e nei primi anni ottanta dimostra la presenza di DNA di HPV in campioni di tumore umano della cervice uterina.

Il Nobel a zur Hausen arriva nel 2008. Anche per lo sviluppo del vaccino è stato necessario qualche anno, perché si sono dovuti caratterizzare i ceppi più ad alto rischio e si è cercata la strategia più adeguata per un vaccino sicuro ed efficace. L'opera è dell'australiano Ian Frazer, negli anni novanta. Il vaccino, approvato e diffuso, potrebbe prevenire più di 300.000 casi all'anno di tumore della cervice uterina a livello mondiale.

## La posta in gioco

Oggi la complessa relazione fra virus e cancro sta vivendo una seconda rinascita. Le tecniche genomiche stanno mettendo in evidenza la presenza di marcatori virali in diversi tipi di tumore. Ci sono, per esempio, tracce significative di alcuni poliomavirus in vari tipi di tumore umano, fra cui il carcinoma di Merkel, ed è quindi opinione diffusa fra gli esperti che nei prossimi anni la lista dei virus oncogeni crescerà significativamente.

Ma la sola presenza di frammenti di geni virali non è sufficiente a stabilire un nesso causale, e dunque molti casi dubbi restano aperti. Probabilmente le ricerche richiederanno, come in passato, molti anni e tanta pazienza e tenacia rispetto alle alte dosi di scetticismo della comunità scientifica. Ma un fatto è certo: i virus non sono destinati a lasciare il proprio ruolo di protagonisti della ricerca sul cancro. Anche perché la posta in gioco, in termini di prevenzione, è potenzialmente altissima. ■

UNIVERSO

# L'universo sta perdendo energia?

**L'energia totale si conserva, come afferma una nota legge fondamentale della fisica, che però non si applica all'universo nella sua totalità**

di Tamara M. Davis

L'energia non si crea né si distrugge. Questo principio, indicato come «principio di conservazione dell'energia», è una delle leggi più importanti e amate della fisica. Governa ogni istante della nostra vita: dal calore necessario per scaldare una tazzina di caffè alle reazioni chimiche che producono ossigeno nelle foglie degli alberi; dall'orbita della Terra intorno al Sole al cibo necessario per far battere il cuore. Non possiamo vivere senza mangiare, le automobili non camminano senza benzina, e le macchine a moto perpetuo sono un miraggio. Quindi se un esperimento sembra violare la legge della conservazione dell'energia, diventiamo giustamente sospettosi. Che cosa succede se le osservazioni sembrano in contrasto con una delle nozioni scientifiche più profondamente radicate, cioè che l'energia si conserva sempre?

Usciamo per un istante dalla sfera terrestre e consideriamo l'intero universo. Quasi tutta la nostra conoscenza sullo spazio ci arriva sotto forma di luce, e una delle proprietà caratteristiche della luce è il suo spostamento verso il rosso, cioè l'allungamento delle onde elettromagnetiche durante il viaggio dalle galassie lontane attraverso l'universo in espansione, secondo la teoria della relatività generale di Einstein. Tuttavia, maggiore è la lunghezza d'onda minore è l'energia. Quindi menti curiose si chiedono: se la luce è spostata verso il rosso dall'espansione dell'universo, dove va a finire la sua energia? Si perde, violando così il principio di conservazione?

La fisica moderna ha dimostrato che quando ci allontaniamo dalle comodità della nostra vita quotidiana per esplorare gli angoli più remoti dello spazio e del tempo, molte nostre ipotesi di base iniziano a crollare. Grazie a Einstein, sappiamo che la simultaneità è un'illusione che cambia in funzione della prospettiva dell'osservatore e che anche le nozioni di distanza e durata sono relative. Ora sospettiamo che l'apparente continuità di spazio e tempo sia un'illusione, proprio come è illusorio l'aspetto uniforme della materia. In fisica, di che cosa possiamo essere certi? Quale tra i nostri ferrei principi ci sta impedendo di vedere le verità più profonde? Noi fisici ogni giorno sfidiamo

## IN SINTESI

- L'universo si espande, e le galassie lontane si allontanano sempre di più da noi, quindi la loro luce si sposta verso il rosso, diventando meno energetica.
- Questa apparente violazione del celebre principio di conservazione dell'energia non contraddice, in realtà, le leggi della fisica.
- Secondo l'autrice, un'interpretazione corretta dimostra che l'energia dei singoli fotoni è conservata. E in generale i fenomeni che si verificano all'interno della galassia conservano l'energia.

Mark Hooper

**La metafora dell'universo come un palloncino che si espande dovrebbe essere considerata con attenzione**

le nostre conoscenze e cerchiamo di scoprire dove sono inadeguate o del tutto sbagliate. E la storia è piena di resti di teorie scartate. La conservazione dell'energia è una di queste idee sbagliate?

No. Alla scala del singolo fotone, l'energia è sempre conservata, anche se la luce è spostata verso il rosso. In modo analogo, in fenomeni che si verificano all'interno della nostra galassia, la Via Lattea, le violazioni sono praticamente impossibili, e la nostra amata legge di conservazione rimane solidamente in piedi. Ma a scala cosmologica l'energia diventa un concetto assai sottile, e le cose si fanno interessanti.

## Simmetria e conservazione

Oltre ad averla verificata sperimentalmente in numerose occasioni, gli scienziati hanno ottime ragioni teoriche per credere nella conservazione dell'energia. La nostra fiducia deriva dalla matematica tedesca Emmy Noether, che quasi un secolo fa pose le basi per la conservazione dell'energia, quando scoprì che tutte le leggi di conservazione sono basate su simmetrie della natura.

In genere, quando pensiamo alla simmetria ci viene in mente ciò che vediamo allo specchio: una riflessione, o forse una rotazione di qualche tipo. Un triangolo equilatero è simmetrico perché lo si può ribaltare intorno a un lato o ruotarlo di un terzo di giro, ottenendo la stessa forma. Anche un quadrato ha una simmetria, ma è necessario ruotarlo di un quarto di giro per arrivare a una configurazione identica. L'oggetto bidimensionale più simmetrico è il cerchio, perché lo si può ruotare a piacimento o ribaltare intorno a qualunque asse passante per il suo centro, e rimane esattamente uguale a prima. L'esempio del cerchio illustra quella che viene chiamata «simmetria continua».

Anche le leggi della fisica possono essere simmetriche. Il passaggio del tempo non cambia le leggi della natura; se si ripete un esperimento molte volte – per esempio facendo urtare due palle da biliardo – il risultato non cambia. Questa proprietà è nota come «simmetria temporale». Le leggi della natura non cambiano con la posizione, dunque hanno simmetria spaziale. Le leggi della natura sono anche indipendenti dalla direzione in cui si osserva, cioè hanno simmetria rotazionale. Certo, lo scenario cambia in funzione della vostra posizione, dell'istante e della direzione in cui si osserva, ma le leggi fondamentali della fisica che regolano il modo in cui lo scenario evolve sono indipendenti dalla posizione, dalla direzione e dal tempo. Se una legge rimane invariata in ogni situazione, essa, come il cerchio, è detta continuamente simmetrica.

Emmy Noether ha scoperto che quando la natura esibisce una simmetria continua fa capolino una legge di conservazione, e viceversa. In particolare, la simmetria spaziale determina la conservazione del momento; la simmetria rotazionale assicura che il momento angolare si conserva; e la simmetria temporale implica la conservazione dell'energia.

Quindi affermare che l'energia si conserva è corretto tanto quanto affermare che le leggi della fisica attuali erano le stesse in passato e rimarranno tali in futuro. D'altra parte, se la simmetria temporale si rompesse la conservazione dell'energia verrebbe a mancare. Come vedremo, è in questo caso che la conservazione dell'energia inizia ad avere problemi, nell'universo di Einstein.

## Segui il flusso

Non c'è modo migliore per verificare che il presente coincida con il passato, e dunque per scoprire se l'energia dell'universo è costante, che osservare il passato in azione servendosi di un telescopio astronomico. Oggi i telescopi osservano le epoche passate, quando le prime galassie si stavano formando, fino al crepuscolo del big bang. La luce che vediamo ha viaggiato per miliardi di anni, e la prima cosa che ha incontrato è lo specchio del telescopio. Le lunghezze d'onda di quella luce sono il metro per verificare la conservazione.

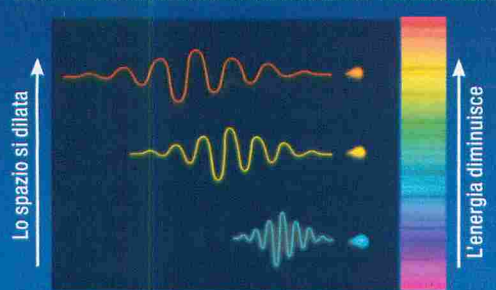
Negli anni venti Edwin Hubble scoprì che la luce della maggior parte delle galassie è spostata verso il rosso. Hubble rilevò che le lunghezze d'onda dei fotoni emessi o assorbiti dagli atomi (per esempio quelli di idrogeno) in tutte le galassie tranne quelle vicine, quando giungono a noi, sembrano allungate in modo proporzionale alla distanza delle galassie. Quindi, dalla scoperta di questo fenomeno, ogni volta che gli astronomi non riescono a misurare la distanza di una galassia con un metodo più diretto ne forniscono una stima usando lo spostamento verso il rosso.

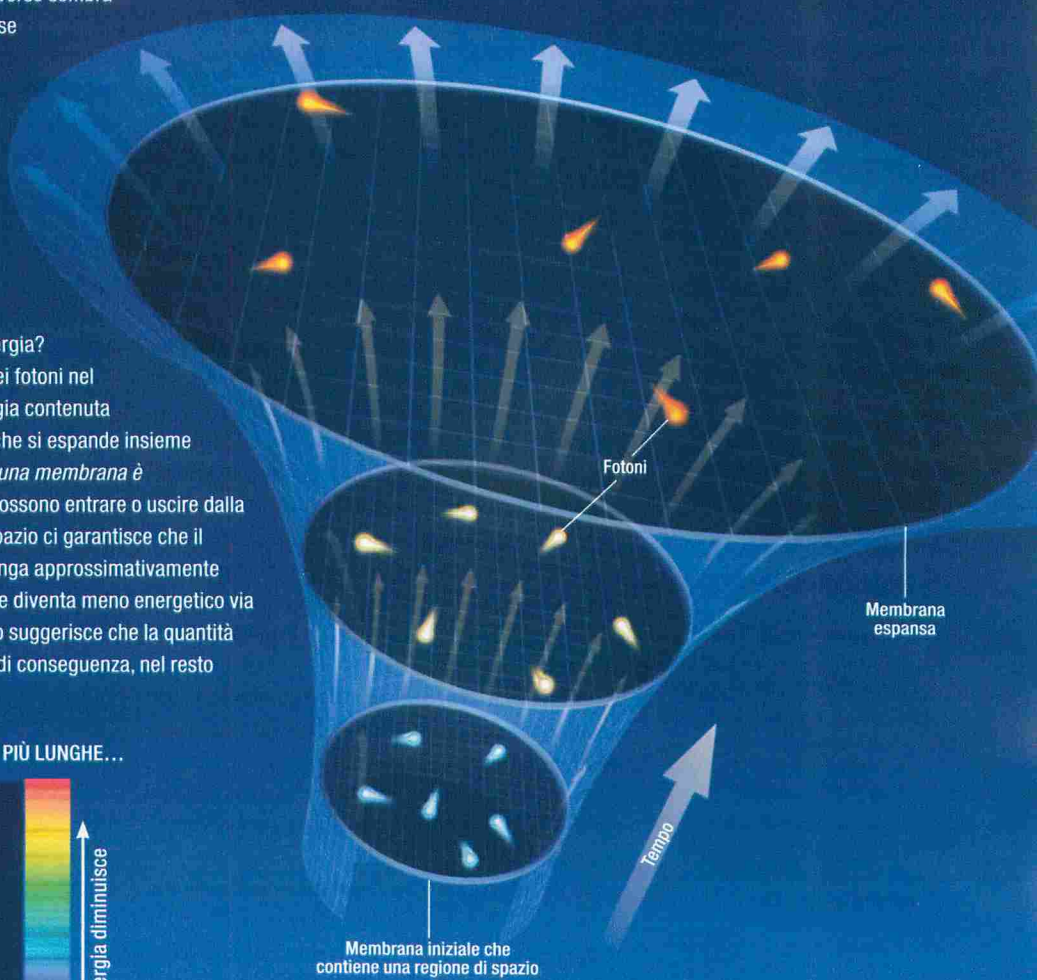
Gli spostamenti verso il rosso (e verso il blu) si verificano anche sulla Terra. Immaginiamo di guidare nei pressi di un radar della polizia. Quando l'automobile si avvicina, le onde elettromagnetiche provenienti dal radar ci sembrerebbero leggermente schiacciate, se potessimo vederle. Ma, dopo aver superato il radar, le onde sembreranno un po' allungate. Si chiama «effetto Doppler»: è l'equivalente elettromagnetico del familiare cambio di frequenza acustica che percepiamo quando passa una sirena. (L'agente scopre se stiamo superando il limite di velocità misurando lo spostamento dovuto all'effetto Doppler nella riflessione del radar.) In questo caso le onde non sono nello spettro visibile,

## Perché l'energia sembra scomparire

Chi sostiene che l'universo stia perdendo energia fonda in parte le sue conclusioni sullo spostamento verso il rosso della luce. L'universo sembra espandersi, come se lo spazio stesso venisse dilatato. Quindi anche le onde elettromagnetiche che compongono la luce sono dilatate e spostate, nel caso della luce visibile, verso la parte rossa dello spettro (*in basso*). I fotoni di lunghezza d'onda maggiore hanno energia minore, quindi la logica vorrebbe che ogni fotone diventi meno energetico via via che viaggia verso di noi.

Ma l'universo nel suo complesso perde energia? Non è possibile calcolare l'energia totale dei fotoni nel cosmo, ma in teoria si può calcolare l'energia contenuta all'interno di una membrana immaginaria che si espande insieme all'universo (*a destra, la regione interna di una membrana è rappresentata in due dimensioni*). I fotoni possono entrare o uscire dalla membrana, ma la densità uniforme dello spazio ci garantisce che il numero di fotoni nella regione interna rimanga approssimativamente costante. Dato che ogni fotone della regione diventa meno energetico via via che lo spazio si espande, questo calcolo suggerisce che la quantità totale di energia dei fotoni nella regione e, di conseguenza, nel resto dell'universo deve diminuire.




ma in genere i fisici chiamano spostamento verso il rosso o verso il blu l'allungamento o lo schiacciamento, rispettivamente, delle onde.

Lo spostamento verso il rosso cosmologico, però, è ritenuto diverso dall'effetto Doppler. Gli spostamenti Doppler sono provocati dai moti relativi. In quel caso i fotoni non perdono e non guadagnano energia, sembrano solo diversi all'osservatore rispetto alla sorgente che li emette. Invece, come sostengono i manuali di relatività generale o di cosmologia, lo spostamento verso il rosso cosmologico si verifica perché, mentre la luce viaggia, lo spazio in cui si muove si dilata in modo simile alla superficie di un palloncino che viene gonfiato.

In effetti, lo spostamento verso il rosso cosmologico si verifica anche in assenza di moto relativo, come mostra un esperimento mentale. Immaginiamo una galassia lontana, ma collegata a noi con un lungo cavo. Rispetto a noi, la galassia non si muove, anche se altre galassie nelle sue vicinanze si allontanano. Ma calcoli ordinari dimostrano che la luce che ci arriva dalla galassia collegata sarà spostata verso il rosso (anche se non quanto quella delle galassie a lei vicine, che non sono state escluse dal flusso dell'espansione). Lo spostamento verso il rosso è generalmente attribuito alla dilatazione dello spazio attraverso cui viaggia la luce.

### Fisica peculiare

Così i fotoni che viaggiano nell'universo in espansione sembrano perdere energia. Che cosa succede alla materia, perde energia anch'essa?

Moonrunner Design

## ALTRI QUESITI COSMICI

**Lo spazio all'interno della nostra galassia si sta espandendo?**
No. All'interno di una galassia, la forma dello spazio è più sensibile a fattori locali rispetto a quanto accade a scala cosmica, e non partecipa all'espansione dell'universo.

**I fotoni provenienti dalle galassie lontane sono spostati verso il rosso perché la densità dell'universo è diminuita? In fondo, i fotoni sono spostati verso il rosso quando risalgono un gradiente gravitazionale.**
È vero, ma in ogni istante l'universo è rimasto uniforme, quindi la densità di materia è stata la stessa sia dietro sia davanti a un fotone. Quindi i fotoni non hanno avuto gradienti gravitazionali da risalire.

**L'entropia è compatibile con la simmetria temporale?**
Sì. In interazioni complesse tra particelle, come nella rottura di un uovo, possiamo dire in quale direzione è stato riprodotto un filmato del processo, cioè la direzione in cui aumenta l'entropia, in altre parole la direzione dell'aumento del disordine. Ogni singola interazione tra particelle però si sarebbe potuta verificare in avanti o all'indietro, secondo le leggi della fisica.

Quando descriviamo il moto della materia nell'universo, distinguiamo tra due categorie diverse. Un oggetto può allontanarsi insieme al flusso generale dell'espansione dell'universo, proprio come i punti dipinti su un palloncino si allontanano l'uno dall'altro quando il palloncino si gonfia. In cosmologia, un oggetto di questo tipo è detto «comovente». Ma un oggetto può anche avere un suo moto proprio, oltre a quello prodotto dall'espansione. Questo secondo tipo di moto è chiamato «peculiare», e si verifica quando qualcosa è trascinato fuori dal flusso uniforme dell'espansione da effetti locali, come l'attrazione gravitazionale di una galassia vicina o la spinta di un razzo.

Le galassie stesse hanno sempre almeno un po' di moto peculiare, ma per le galassie distanti, che si allontanano più rapidamente di quelle vicine, la velocità peculiare è bassa rispetto alla loro recessione. A scale maggiori, la distribuzione delle galassie è uniforme, quindi gli effetti locali sono trascurabili, e le galassie sono sostanzialmente comoventi. Queste galassie si possono considerare come i punti sul palloncino, cioè come bandiere di segnalazione della trama in espansione dello spazio.

Un sistema di riferimento comovente come quello definito dalle galassie è davvero utile: per esempio fornisce una convenzione universale per il tempo, in modo che chiunque, in ogni galassia comovente, sia d'accordo su quanto tempo sia trascorso dal big bang.

Se un viaggiatore intergalattico andasse alla deriva per miliardi di anni luce, incrocerebbe molte di queste galassie di segnalazione. Ma dato che l'universo è in espansione le bandiere di segnalazione si stanno allontanando l'una dall'altra, e il nostro viaggiatore sembra muoversi sempre più lento rispetto alle galassie che incontra. Quindi il viaggiatore sembra rallentare.

Di conseguenza, come la luce perde energia aumentando in lunghezza d'onda, la materia perde energia rallentando. A prima vista, questi fenomeni sembrano molto diversi tra loro, ma la meccanica quantistica li unifica. Nella visione quantomeccanica della materia, le particelle dotate di massa hanno anche proprietà tipiche delle onde. Il fisico francese Louis de Broglie scoprì che al crescere dell'impulso di una particella la lunghezza d'onda diminuisce e l'energia aumenta. E per questa scoperta vinse il premio Nobel nel 1929.

Le particelle di materia possono avere impulso elevato se hanno massa elevata, o velocità elevata, o entrambe. Questa proprietà spiega, per esempio, perché una palla da baseball non sembra muoversi come un'onda dopo aver lasciato il guanto del lanciatore. Le palle da baseball sono estremamente massicce in termini quantistici, e alla velocità tipica di un lancio veloce in un campionato professionistico (circa 145 chilometri l'ora) una palla ha una lunghezza d'onda di circa $10^{-34}$ metri, di cui un battitore non deve certo preoccuparsi troppo. D'altronde, un elettrone che viaggia alla stessa velocità ha una lunghezza d'onda di 18 micrometri: sempre piccola, ma 29 ordini di grandezza più grande di quella di una palla da baseball, e ben evidente quando si considera il comportamento degli elettroni.

Se si calcola la velocità relativa persa dalle particelle massicce quando passano vicino ad altre particelle in allontanamento, si scopre che la lunghezza d'onda di de Broglie aumenta della stessa proporzione a cui aumenta la lunghezza d'onda del fotone. Luce e materia dunque sembrano comportarsi nello stesso modo, quando si tratta di perdita di energia nell'universo in espansione, e in entrambi i casi la conservazione dell'energia sembra violata. Nel caso della materia, il paradosso è spiegato con il fatto che stiamo misurando la velocità in diversi sistemi di riferimento, cioè rispetto a galassie che si allontanano. Come vedremo, per i fotoni accade qualcosa di simile.

### Contabilità creativa

Se esistessero ragionieri cosmologici per verificare che l'universo sta perdendo energia, potrebbero misurare tutta l'energia dell'universo, invece di concentrarsi su un oggetto alla volta. Innanzitutto potrebbero sommare tutta l'energia contenuta nella massa della materia dell'universo (massa ed energia sono equivalenti secondo la formula di Einstein $E = mc^2$). Poi potrebbero sommare l'energia cinetica relativa al moto peculiare della materia. A questa somma dovrebbero aggiungere anche l'energia della luce e poi passare al difficile compito di contabilizzare l'energia in tutti i campi gravitazionali che circondano pianeti, stelle e galassie, più l'energia contenuta nei legami chimici e nei nuclei degli atomi. (Suono e calore sono solo movimenti delle particelle, dunque sono già stati contabilizzati.)

Un primo problema da affrontare è che l'universo è infinitamente grande, e contiene una quantità infinita di energia e materia. Dunque i ragionieri dovrebbero prendere una scorciatoia. Potrebbero disegnare una membrana immaginaria intorno a una regione dell'universo e sommare l'energia interna (*si veda il box a p. 75*). Poi dovrebbero far espandere la membrana come l'universo, in modo che le galassie comoventi rimangano all'interno della membrana. La luce e la materia possono

## Una questione di geometria che cambia

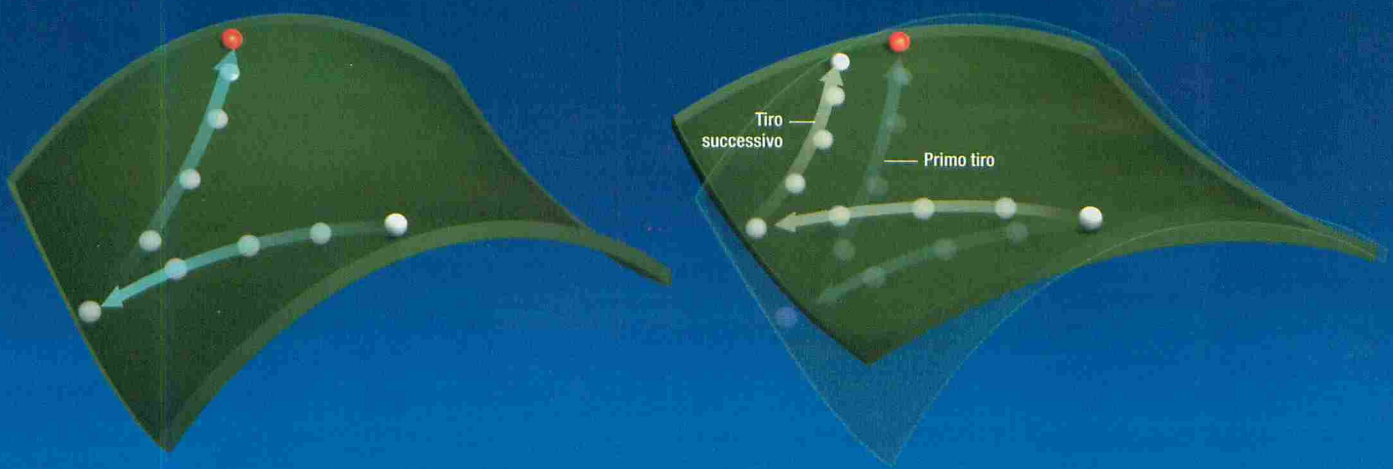
Le leggi di conservazione sono intimamente legate alle simmetrie della natura. In particolare, l'energia si conserva quando le leggi della natura hanno «simmetria temporale». La simmetria temporale si verifica se ogni esperimento dà lo stesso risultato indipendentemente dal momento in cui viene effettuato. Ma se gli esperimenti possono dare risultati diversi in tempi diversi, l'energia potrebbe non essere conservata. Un esempio consiste nel giocare un tiro di sponda su un tavolo da biliardo con geometria variabile. A scala cosmologica, il nostro universo ha una geometria variabile, che ancora una volta implica che l'energia potrebbe non conservarsi.

### UN TAVOLO DA BILIARDO CURVO

Per giocare su un tavolo con geometria curva, o «non euclidea», occorre adattare i tiri alla geometria. Tuttavia, se la geometria è costante lo stesso tiro avrà identico effetto nel futuro. Grazie a questa simmetria temporale, in un universo con geometria fissa l'energia rimarrebbe costante.

### GEOMETRIA VARIABILE

Se però la geometria del tavolo da biliardo cambiasse nel tempo, i tiri che avevano funzionato in passato potrebbero non funzionare più, quindi la simmetria temporale sarebbe rotta. Qualcosa di analogo accade nell'universo, dato che secondo la relatività generale il moto della materia e dell'energia cambia la geometria dello spazio. In queste condizioni, l'energia non deve necessariamente conservarsi. In particolare, i fotoni possono cambiare lunghezza d'onda, diventando meno energetici durante il percorso.




Moonrunner Design (*illustrazione*); cortesia Andrei Linde (*Davis*)

attraversare la membrana, ma dato che l'universo è omogeneo, ne entra e ne esce la stessa quantità, dunque la quantità contenuta nella membrana rimane circa costante. I nostri ragionieri sanno che l'interno dell'universo si può rappresentare con una serie di questi volumi. Se l'energia nell'universo deve essere conservata nel suo insieme, basta dimostrare la conservazione dell'energia in ciascuno dei volumi.

Il calcolo è semplice per la materia in stato di quiete, che si raffredda e segue il flusso dell'espansione. La sua sola energia proviene dalla massa, e dato che la materia non entra né esce dalla membrana, sappiamo che la massa è conservata. Ma le cose sono un po' più complicate per la luce, come abbiamo visto, e per la materia con velocità peculiare. Anche se il numero di fotoni o di particelle di materia nella membrana non cambia, nel tempo l'energia dei fotoni e l'energia cinetica della materia diminuiscono in moto peculiare. Quindi l'energia totale nella membrana si riduce.

La situazione sarebbe ancora più complicata se si dovesse misurare l'energia oscura, che è all'origine dell'accelerazione registrata nell'espansione dell'universo. Natura e proprietà dell'energia oscura sono ancora un mistero, ma sembra che l'energia oscura non si diluisca con l'espansione dell'universo. Quindi, se il volume nella membrana aumenta anche la quantità di energia contenuta nel volume aumenta, e l'energia supplementare sembra provenire dal nulla! Si potrebbe pensare che l'aumento in energia oscura possa compensare le perdite in tutte le altre forme di energia, ma non è così. Anche se teniamo conto dell'energia oscura, l'energia totale nella membrana non è conservata.

Come potrebbero i nostri ragionieri conciliare queste variazioni di energia con il teorema di Noether? In effetti dovrebbero capire subito che non c'è ragione per cui il teorema di Noether debba valere per il nostro mutevole universo. Secondo la relatività generale, materia ed energia curvano lo spazio, e mentre si muovono (o si diffondono in uno spazio in espansione) la forma dello spazio cambia di conseguenza. Nella vita di tutti i giorni, questi effetti sono troppo piccoli per essere rilevati, ma a scala cosmica possono diventare importanti.

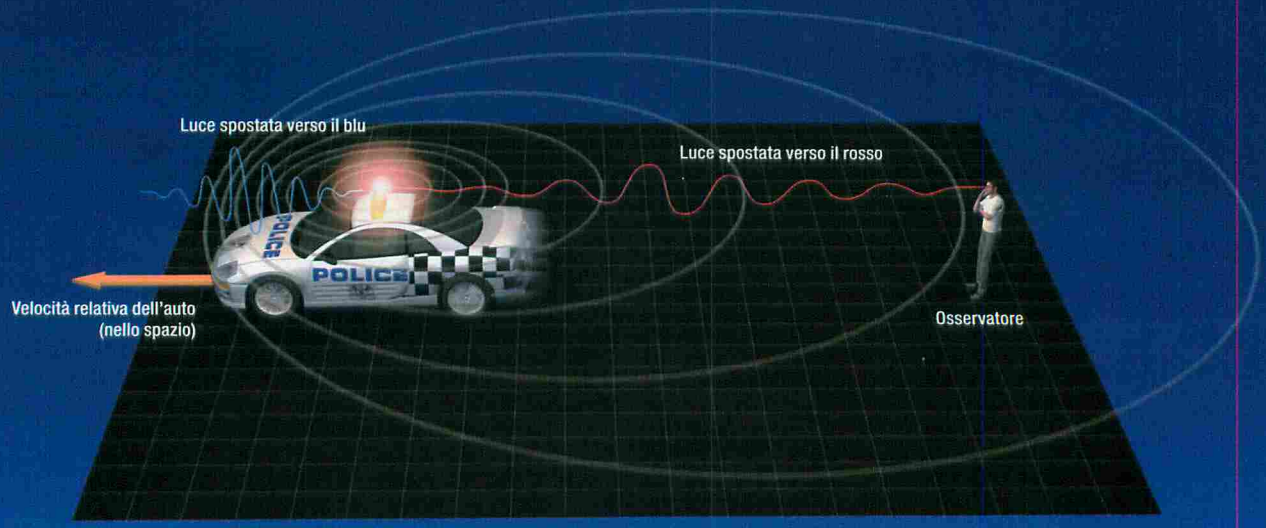
La malleabilità dello spazio implica che le leggi della fisica non sono simmetriche rispetto al tempo. Il modo più semplice di visualizzare questo fenomeno consiste nel ritornare all'esempio del-


**L'AUTORE**

TAMARA M. DAVIS ha ottenuto un dottorato all'Università del Nuovo Galles del Sud nel 2004, ed è ricercatrice all'Università del Queensland a Brisbane, in Australia. Lavora su grandi banche dati per scoprire che cosa la cosmologia può insegnarci sulla fisica fondamentale, per esempio sulla natura dell'energia oscura e della materia oscura. Ha vinto il premio dell'Astronomical Society of Australia per i giovani ricercatori e il Premio L'Oréal-Unesco per le Donne nella Scienza per l'Australia.

## Come si conserva l'energia del fotone

Lo spostamento verso il rosso che osserviamo nelle galassie lontane è generalmente attribuito alla dilatazione dello spazio, ma si può anche interpretare come un effetto del moto di allontanamento delle galassie rispetto all'osservatore. È dunque simile al più familiare effetto Doppler, che chiunque può percepire quando un veicolo con la sirena ci passa vicino, ma che influisce anche sulla lunghezza d'onda dei fotoni, per esempio quelli provenienti dalle luci di emergenza del veicolo (*qui sotto*). Nel caso illustrato, l'energia è conservata; analogamente, interpretando lo spostamento verso il rosso delle galassie come un effetto Doppler (*a fronte*), si dimostra che anche i fotoni da una galassia lontana non perdono energia.




### EFFETTO DOPPLER ORDINARIO

L'effetto Doppler deriva dal moto relativo. Per esempio la luce lampeggiante di un'automobile della polizia sembra spostata verso il rosso o verso il blu – un fenomeno impercettibile per l'occhio umano – in funzione della posizione di un osservatore e del movimento dell'automobile stessa. Più grande è la velocità relativa dell'automobile, più intenso sarà l'effetto.

Tuttavia il verificarsi dell'effetto Doppler non implica che i fotoni cambino colore (e nemmeno che perdano energia) lungo il loro percorso. Semplicemente, dal punto di vista dell'osservatore i fotoni hanno colori diversi rispetto ai colori che hanno se sono osservati dal punto di vista dell'automobile.

le palle da biliardo. Se guardassimo diversi filmati di un particolare tiro su un tavolo da biliardo con geometria variabile, per esempio un tavolo piatto all'inizio e che si deforma nel tempo, ogni filmato apparirebbe diverso dagli altri; si potrebbe indovinare quando e in quale ordine sia stata realizzata ciascuna ripresa. La simmetria temporale verrebbe rotta (*si veda il box a p. 77*).

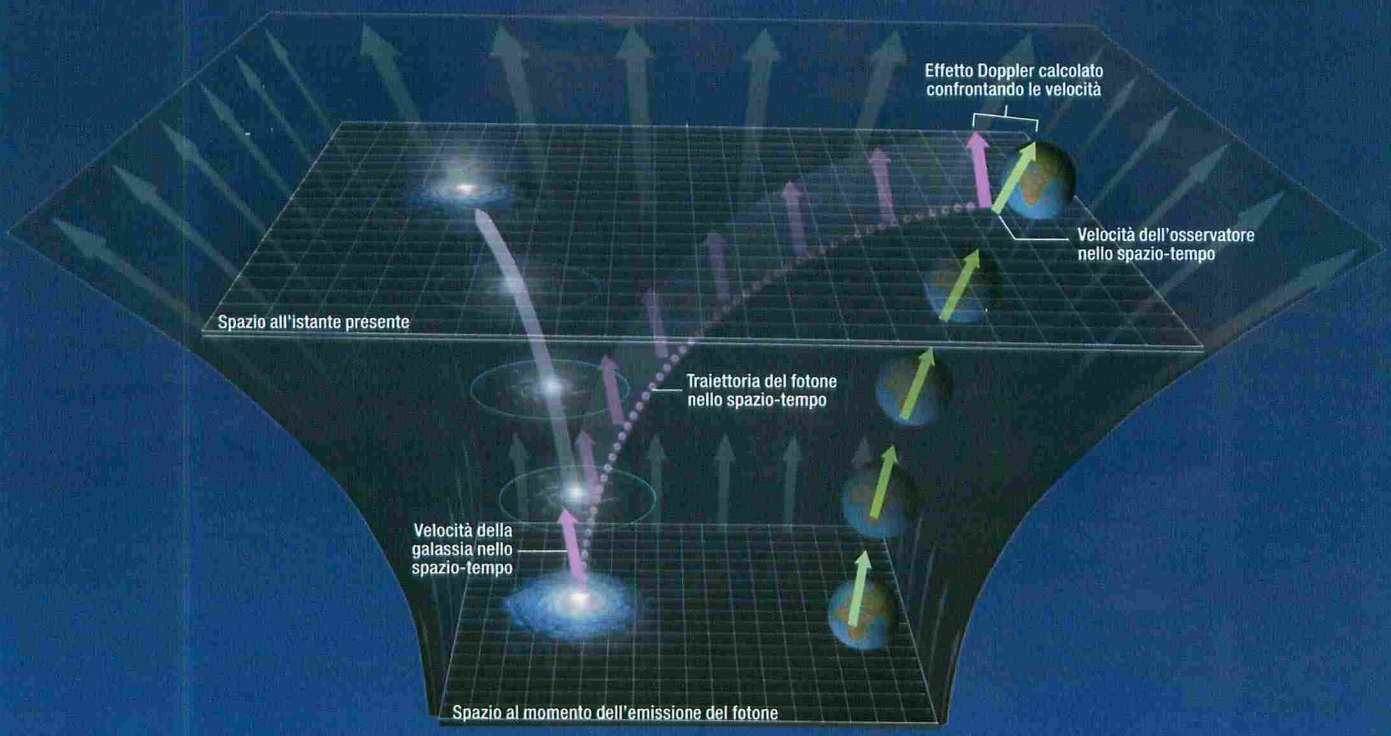
Siamo giunti al limite dei nostri amati principi di conservazione: quando spazio e tempo sono variabili, la simmetria temporale è perduta, e la conservazione dell'energia non ha più valore.

### Semantica cosmica

Anche se la curvatura non cambia, tentare di quantificare l'energia dell'universo è un esercizio inutile: la prospettiva dei nostri ragionieri, simile a quella divina, non riguarda nessun osservatore nell'universo. In particolare i nostri contabili non considerano l'energia del moto delle galassie comoventi l'una rispetto all'altra, e quindi le galassie sembrano prive di energia cinetica. Un'altra difficoltà è rappresentata dall'energia gravitazionale associata all'attrazione reciproca tra le galassie. È noto infatti che nella teoria della relatività generale non è sempre possibile definire inequivocabilmente l'energia gravitazionale in un modo che si possa applicare all'universo nel suo insieme.

Quindi l'energia totale dell'universo non si conserva e non si perde: semplicemente non si può definire. D'altra parte, se abbandoniamo il punto di vista divino e ci concentriamo su una particella alla volta, possiamo scoprire quello che per molti cosmologi è un modo più naturale di concepire il viaggio di un fotone da una galassia lontana, secondo cui il fotone non perde affatto energia. Il punto è che la nostra metafora del palloncino, sebbene sia utile per visualizzare l'espansione, deve essere considerata con attenzione: lo spazio vuoto non ha realtà fisica. Quando le galassie si allontanano l'una dall'altra, siamo liberi di considerare questo moto relativo come un'«espansione dello

Moonrunner Design




**LO SPOSTAMENTO VERSO IL ROSSO DELLE GALASSIE COME EFFETTO DOPPLER**

Uno spostamento verso il rosso galattico è identico all'effetto Doppler che un osservatore percepirebbe guardando un'auto della polizia in allontanamento alla stessa velocità relativa della galassia, se la «velocità relativa» è interpretata in modo opportuno. Innanzitutto si devono tracciare le traiettorie della galassia e dell'osservatore nello spazio-tempo, non nello spazio. (In questa prospettiva lo spazio è una superficie bidimensionale in evoluzione, tagliata dalle traiettorie nello spazio-tempo). Poi si deve confrontare la velocità della galassia al momento dell'emissione del fotone (*freccia in rosso*) con la velocità dell'osservatore quando riceve il fotone (*freccia in blu*) e, con opportune operazioni matematiche derivate dalla relatività generale, calcolare la velocità relativa. L'effetto Doppler calcolato da questa velocità relativa coincide con lo spostamento verso il rosso della galassia, suggerendo che lo spostamento sia il risultato del moto relativo, anziché dell'espansione dello spazio. Quindi l'energia non è persa.

spazio» o un «movimento attraverso lo spazio»; la differenza è soprattutto una questione semantica.

Lo spostamento verso il rosso cosmologico è generalmente descritto come una conseguenza dell'espansione dello spazio. Ma nella relatività generale di Einstein lo spazio è relativo, e ciò che conta davvero è la storia di una galassia: la traiettoria che compie nello spazio-tempo. Quindi dovremmo calcolare la velocità relativa della galassia lontana rispetto a noi confrontando la sua traiettoria nello spazio-tempo e la nostra. Lo spostamento verso il rosso osservato nella galassia risulta identico all'effetto Doppler che l'osservatore percepirebbe in un'automobile che si allontana alla stessa velocità relativa (*si veda il box in questa pagina*).

Ciò avviene perché in regioni abbastanza piccole l'universo è una buona approssimazione di uno spazio-tempo piatto. Ma nello spazio-tempo piatto non c'è gravità né dilatazione di onde, e ogni spostamento verso il rosso non può essere altro che un effetto Doppler. Così possiamo supporre che la luce provochi molti piccoli spostamenti Doppler lungo la sua traiettoria. E proprio come nel caso dell'automobile della polizia – in cui non ci verrebbe nemmeno in mente che i fotoni stiano guadagnando o perdendo energia – anche in questo caso il moto relativo dell'emettitore e dell'osservatore implica che entrambi osservino i fotoni da prospettive diverse, e non che i fotoni hanno cambiato energia durante il percorso.

In conclusione, non c'è nulla di misterioso nella perdita di energia dei fotoni: le energie sono misurate da galassie che si allontanano l'una dall'altra, e la diminuzione di energia dipende solo dalla prospettiva e dal moto relativo. Quando però proviamo a misurare l'energia totale dell'universo ci scontriamo con un limite fondamentale, perché non esiste un valore unico per ciò che chiamiamo energia dell'universo.

L'universo, quindi, non viola la legge della conservazione dell'energia: piuttosto si trova fuori della sua giurisdizione. ■

## Letture

**Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity.** Carroll S.M., Addison-Wesley, 2003.

**Piccoli equivoci sul big bang.** Lineweaver C.H. e Davis T.M., in «Le Scienze» n. 440, aprile 2005.

**The Kinematic Origin of the Cosmological Redshift.** Bunn E.F. e Hogg D.W., in «American Journal of Physics», Vol. 77, n. 8, pp. 688-694, agosto 2009.

# La guerra DELLE macchine

**Sui campi di battaglia e nei cieli sopra di essi, i robot stanno provocando il più grande cambiamento nel modo di fare la guerra dopo la bomba atomica**

di Peter W. Singer

Nei primi anni settanta un piccolo gruppo di fornitori esterni e burocrati di medio livello del Ministero della Difesa degli Stati Uniti su unì per costituire un'associazione professionale di settore. Il problema da affrontare era lo stesso per tutti: come costruire macchine capaci di operare autonomamente, senza controllo umano, e poi convincere il grande pubblico e gli alti papaveri del Pentagono che schierare in battaglia dei robot era una buona idea. L'Association for Unmanned Systems International, come era stata battezzata, ha continuato a riunirsi per decenni in relativa oscurità, ma di recente è cresciuta fino a includere oltre 1500 aziende e organizzazioni di 55 paesi. Ed è cresciuta così in fretta da trovarsi in una sorta di crisi di identità. Al punto che durante un meeting a San Diego ha persino assunto un «maestro narratore» che aiutasse a raccontare la storia degli straordinari cambiamenti avvenuti nella tecnologia dei robot.

Alla base di queste novità c'è uno dei più profondi mutamenti avvenuti nella moderna arte della guerra dai tempi dell'avvento della polvere da sparo o dell'aeroplano: un aumento incredibilmente rapido dell'uso dei robot sui campi di battaglia. Ad accompagnare l'avanzata degli Stati Uniti dal Kuwait verso Baghdad nel 2003 non ce n'era neanche uno. Ma da allora nell'armamentario militare degli Stati Uniti sono stati entrati 7000 aerei «senza pilota» e altri 12.000 veicoli terrestri, a cui sono state affidate missioni che vanno dalla ricerca dei cecchini al bombardamento dei nascondigli di al Qaeda nei recessi montuosi del Pakistan. Le forze armate più potenti del mondo, che un tempo evita-

## IN SINTESI

- In passato le forze armate statunitensi evitavano i robot, considerandoli un ostacolo alle tradizioni militari.
- I conflitti mediorientali, che spesso coinvolgono aree urbane o villaggi remoti, hanno visto un enorme incremento del loro uso.
- Via via che diventano più autonomi, i robot sollevano un gran numero di problemi etici e legali.

NELLA GUERRA HIGH-TECH, il controllo a distanza ha cominciato a estendersi a robot addetti alla sorveglianza, all'approvvigionamento delle truppe e persino all'uso di armi di grande potenza.

PORTA IL TUO DRONE: Nella provincia irachena di al Anbar, lo ScanEagle ha messo a disposizione dei Marines una telecamera di sicurezza aerotrasportata, volando su zone remote del territorio per diverse ore alla volta.

vano i robot perché estranei alla loro cultura guerriera, oggi hanno adottato una guerra di macchine come strumento per combattere un nemico irregolare che fa esplodere una bomba con un telefono cellulare e poi si confonde nella folla.

Questi sistemi robotici non stanno solo influendo su come si combatte questo nuovo tipo di guerra, ma hanno anche dato il via a un acceso dibattito sulle implicazioni dell'uso di macchine sempre più autonome e intelligenti in battaglia. Allontanare i soldati dal pericolo può salvare vite umane, ma il crescente ricorso ai robot solleva anche questioni politiche, legali ed etiche sulla natura fondamentale della guerra e sulla possibilità che queste tecnologie rendano più facile scatenare un conflitto.

## Il robot va alla guerra

L'inizio di questa storia può essere fatto risalire a una *pièce* teatrale del 1921, intitolata *R.U.R.*, in cui lo scrittore ceco Karel Capek coniò la parola «robot» per indicare servitori meccanici che finivano per ribellarsi contro i loro padroni umani. Il vocabolo era assai significativo, derivato com'era dalla parola ceca che vuol dire «servitù» e dall'antico termine slavo per «schiavo», e storicamente legato ai *robotnik*, contadini che nell'Ottocento si erano rivoltati contro i ricchi proprietari terrieri. Il tema dei robot che svolgono i lavori che noi non vogliamo fare ma poi finiscono per prendere il controllo è un classico della fantascienza tuttora ben vivo in film come *Terminator* o *Matrix*.

Gli esperti di robotica dei nostri giorni usano termini come «senza pilota» o «a controllo remoto» per allontanare ogni associazione con le visioni hollywoodiane di macchine che complottano per eliminarci. Semplificando al massimo, i robot sono macchine progettate per operare secondo un paradigma «sentire-pensare-agire». Ovvero sono dotate di sensori che raccolgono informazioni sul mondo esterno. Questi dati sono poi inviati a processori, e magari a software di intelligenza artificiale, che li usano per prendere le decisioni appropriate. Infine, in base a quelle informazioni, sistemi meccanici chiamati effettori compiono fisicamente certe azioni sul mondo circostante. Questi robot non devono essere antropomorfi; dimensioni e forma dei sistemi che stanno cominciando a compiere queste azioni sono molto variabili, e ben di rado evocano immagini come quelle di C-3PO o di Terminator.

Nell'ultimo decennio il sistema satellitare di posizionamento globale (GPS), sistemi di controllo remoto analoghi a quelli dei videogiochi e una miriade di altre tecnologie hanno reso i robot utili, e utilizzabili in battaglia. L'accresciuta capacità di osservare, individuare e attaccare bersagli in contesti ostili senza esporre al pericolo l'operatore umano è diventata prioritaria dopo gli attacchi dell'11 settembre, e ogni nuovo impiego sul campo di questi sistemi è stato un successo dalle ripercussioni più ampie. Nei primi mesi della campagna afgana del 2001, per fare solo un esempio, un prototipo del PackBot, oggi ampiamente usato per il disinnesco di bombe, fu schierato per una prova sul campo. I soldati lo apprezzarono al punto di non volerlo restituire al fabbricante, la iRobot, che ne ha poi venduto migliaia di esemplari.

L'accettazione sempre più rapida della robotica militare è diventata evidente durante la guerra in Iraq. Quando le forze armate degli Stati Uniti entrarono nel paese, nel 2003, le truppe terrestri non avevano sistemi senza equipaggio. Alla fine del 2004 ce n'erano già circa 150; un anno dopo erano 2400 e oggi sono più di 12.000. Lo stesso è avvenuto per gli armamenti aerei: dai pochissimi velivoli senza pilota che davano supporto alle forze di invasione, l'apparato militare degli Stati Uniti oggi ne conta più di 7000. Ed è solo l'inizio. Un generale a tre stelle dell'Air Force prevede che il prossimo grosso conflitto degli Stati Uniti non coinvolgerà le migliaia di robot attualmente in campo, ma «decine di migliaia».

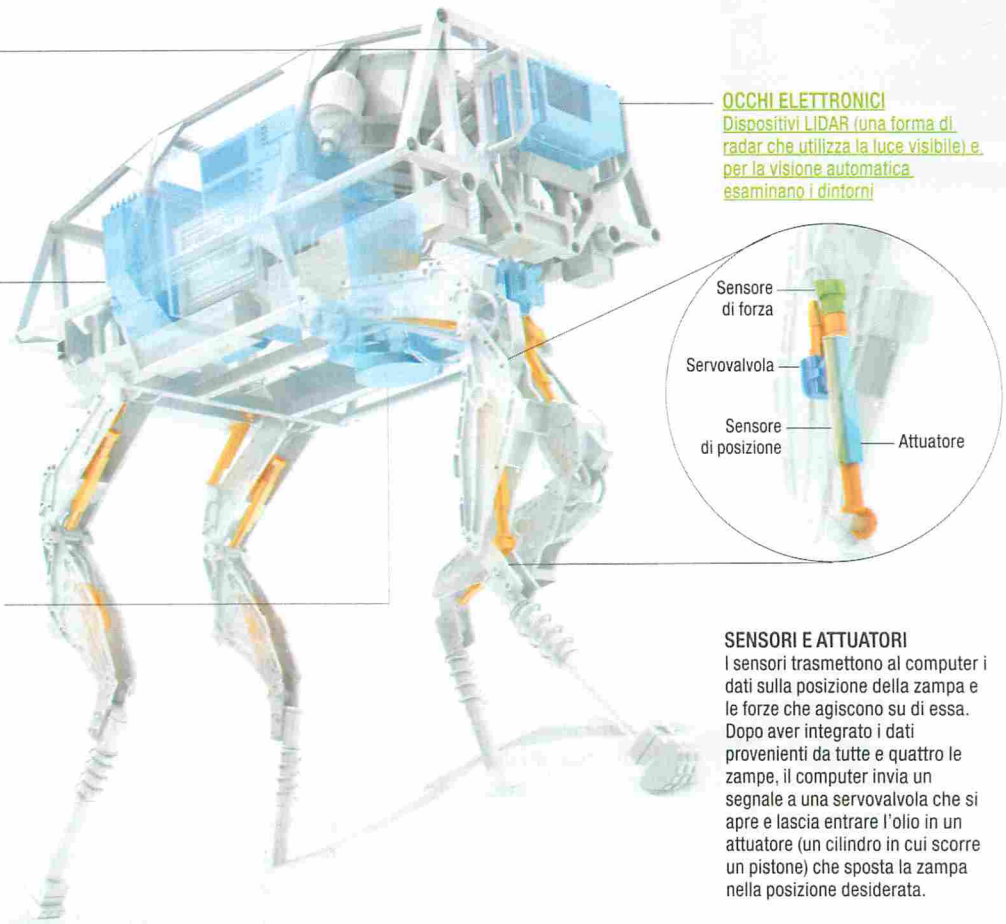
I numeri rivelano un importante mutamento nell'atteggiamento di una classe militare che solo pochi anni fa restava dubbiosa e decisa a difendere l'antica prerogativa del soldato di condurre personalmente la carica contro il nemico. Oggi invece l'aviazione, l'esercito e la marina attirano le reclute con pubblicità televisive che esaltano, per citarne una, il fatto che la marina «lavora, ogni giorno, per togliere gli uomini dal fronte».

Quando poi questi ragazzi entrano nelle forze armate, i sistemi automatizzati sono parte integrante della loro esperienza, dall'arruolamento al congedo. Imparano come usare un sistema d'arma con i più recenti software di addestramento virtuale. Dopo l'addestramento, possono essere addetti a guidare un PackBot grande come una falciatrice da giardino o un robot terrestre TALON, capace di trasportare armi o sbirciare al di là di una cresta alla ricerca di insorti in Iraq o in Afghanistan. Se diventano marinai, possono essere imbarcati su un caccia di classe Aegis o su una Littoral Combat Ship, che fanno da nave madre per una serie di sistemi, dagli elicotteri senza equipaggio Fire Scout fino alle lance robotiche di pattuglia Sentry. Se la carriera li porta sui sommergibili, può darsi che controllino veicoli sottomarini senza equipaggio come il REMUS (un robot sottomarino a forma di siluro originariamente sviluppato dalla Woods Hole Oceanographic Institution), per individuare mine o sorvegliare co-

Pagina precedente: Joe Zeff Design; Mansour Ali Photography/Getty Images (*sfondo*); questa pagina: foto scattata dal sergente artigliere Chad McMeen, U.S. Marine Corps

## Anatomia di un robot di nuova generazione

Né i soldati umani né le normali macchine potranno eguagliare le capacità dei nuovissimi robot militari. BigDog, simile ai quadrupedi che vivono in mandrie, è progettato per attraversare terreni troppo ripidi, impervi, rocciosi, fangosi o nevosi per i veicoli che si muovono su ruote o su cingoli, trasportando carichi di munizioni o altri rifornimenti del peso di centinaia di chilogrammi.




ste ostili. Se invece finiscono in aviazione, magari «voleranno» sopra l'Asia centrale alla guida di un drone Predator o Global Hawk senza mai lasciare fisicamente gli Stati Uniti continentali.

### Le macchine da guerra del futuro

In una pubblicità per il reclutamento, queste tecnologie sono presentate come parte dell'esercito di oggi, anche se «sembrano fantascienza». Ma in realtà sono solo la prima generazione, un preludio a ciò che ancora deve venire. Gli attuali robot PackBot che cercano bombe ai lati delle strade e i droni Predator in volo sopra l'Afghanistan rappresentano l'equivalente della Ford modello T e del Flyer dei fratelli Wright. I prototipi della prossima generazione rivelano tre aspetti essenziali in cui i robot cambieranno il modo di fare la guerra.

L'idea dei robot come semplici «sistemi senza equipaggio» – identici a ogni altra macchina, salvo che per l'assenza di un operatore umano – è avviata al tramonto. La sua evoluzione ripercorre la traiettoria storica dell'automobilismo: l'idea delle auto come «carrozze senza cavalli» è diventata obsoleta appena i progettisti cominciarono a studiare forme e dimensioni nuove.

Un analogo superamento dei preconcetti sui robot sta portando le macchine ad assumere una vasta gamma di forme. Alcuni modelli, come era prevedibile, si ispirano alla biologia. Il BigDog della Boston Dynamic, per esempio, è un quadrupede metallico per il trasporto di attrezzature. Altri sono ibridi, come un robot di sorveglianza della Naval Postgaduate School, dotato sia di ali sia di zampe. Ma altri sistemi ai primi stadi di sviluppo sono letteralmente privi di forma. Il ChemBot, creato dall'Università di Chicago e iRobot, è una macchina, ma somiglia a un globo di gelatina che può cambiare forma fino a infilarsi in un buco del muro.

**I robot possono tenere i soldati lontano dal pericolo, ma così facendo eliminano uno dei principali deterrenti all'inizio di un conflitto**

Bryan Christie Design

UN AIUTO. Un soldato lancia un robot PackBot attraverso una finestra in modo che la videocamera di cui è dotato riprenda l'interno dell'edificio.

Non dovendo ospitare esseri umani, le dimensioni dei robot possono essere le più diverse. Già oggi i robot miniaturizzati si misurano in millimetri e pesano pochi grammi. Per esempio un robot di sorveglianza costruito dall'AeroVironment per il combattimento urbano imita un colibrì sia per le dimensioni sia per la capacità di restare fermo in volo sul bersaglio. La prossima frontiera è quella dei robot a nanoscala (strutture misurabili in miliardesimi di metro), che secondo alcuni scienziati diventeranno comuni entro qualche decennio. In guerra, queste macchine potrebbero essere usate per ruoli che vanno da quello della «polvere intelligente» capace di individuare il nemico a macchine di dimensioni simili a quelle delle cellule, inserite nel corpo umano per guarire le ferite – o per infliggerne. All'estremo opposto, la possibilità di schierare sistemi che non devono tenere conto dei bisogni del corpo umano sta conducendo a giganteschi sistemi privi di equipaggio, come l'High Altitude Airship della Lockheed, un dirigibile con un radar lungo come un campo di calcio, progettato per volare a oltre 19.800 metri di quota per più di un mese senza interruzioni.

Dopo dimensioni e forma, il secondo grande cambiamento è l'espansione dei ruoli che queste macchine sono in grado di ricoprire nelle operazioni belliche. Proprio come i primissimi aeroplani della prima guerra mondiale, all'inizio i robot hanno avuto compiti di osservazione e ricognizione, e oggi sono arrivati a svolgere ben altri incarichi. L'azienda di sviluppo tecnologico QinetiQ North America, che produce il TALON, ha presentato nel 2007 il robot MAARS, che è armato di mitragliatrice e lanciagranate e può fare da sentinella e da cecchino. A loro volta, robot medici come il Robotic Extraction Vehicle sono concepiti per trascinare i feriti al sicuro e poi curarli.

Il terzo grande cambiamento è la continua crescita dell'intelligenza e dell'autonomia dei robot. L'inesorabile aumento della potenza di calcolo significa che i soldati che oggi sono stati arruolati da poco alla fine della loro carriera potrebbero vedere robot guidati da computer dalle capacità un miliardo di volte superiori, letteralmente, a quelle attuali. Per le forze armate dei tempi della seconda guerra mondiale, la differenza tra il B-17 e il B-24 non era un fatto di intelligenza, ma i sistemi d'arma più recenti richiedono distinzioni di questo tipo. Per esempio, i velivoli senza pilota Predator si sono evoluti dal controllo a distanza alla capacità di decollare e atterrare autonomamente e seguire 12 bersagli allo steso tempo; il software di riconoscimento dei bersagli è addirittura in grado di risalire all'origine di una serie di impronte. E malgrado ciò le forze armate degli Stati Uniti hanno già in programma di sostituire questi velivoli, in servizio dal 1995, con una nuova generazione.

L'espansione dell'intelligenza e dell'autonomia dei robot solleva profondi interrogativi su quali siano i ruoli giusti da delegare alle macchine. Si tratta di decisioni da ponderare non solo in termini di efficienza dell'apparato militare ma anche per ciò che questo spostamento di responsabilità potrebbe significare per i loro comandanti umani e per le più ampie responsabilità politiche, etiche e legali della loro condotta. L'esito più probabile per il prossimo futuro è che i robot assumano il ruolo di «elementi combattenti associati». In questo scenario, si avrebbero squadre miste di esseri umani e robot che operano insieme, in cui ciascuno fa ciò che sa fare meglio. Il contributo dell'elemento umano potrebbe risultare simile a quello del *quarterback* nel football americano, o del regista nel calcio: decidere le azioni che i compagni di squadra robotici devono eseguire lasciando poi loro l'autonomia necessaria a reagire alle mutevoli circostanze.

## La vera storia

Per notevoli che siano, descrivere questi sviluppi non basta a farci capire pienamente la strada su cui si è avviata la robotica, e ciò che questo significa per il nostro mondo e per il futuro delle attività belliche. Non basta descriverne le capacità fisiche per coglierne appieno le implicazioni, proprio come per cogliere tutto ciò che ha significato la polvere da sparo non basta osservare che dà luogo a un'esplosione chimica che è stata usata per prolungare la traiettoria dei proiettili.

I robot sono una di quelle rare invenzioni che cambiano letteralmente le regole del gioco. Le tecnologie «rivoluzionarie» di questo tipo non danno un vantaggio permanente a una delle parti, come erroneamente pensano alcuni analisti, perché gli altri combattenti le adottano o vi si adattano rapidamente; piuttosto, provocano sconvolgimenti non solo sul campo di battaglia, ma nella stessa struttura sociale che gli sta intorno. L'importanza dell'arco lungo, per esempio, non fu solo nel consentire agli inglesi di battere la Francia ad Agincourt durante la guerra dei Cent'anni, ma nel fatto che permetteva a gruppi di contadini organizzati di trionfare sui cavalieri, mettendo fine all'epoca feudale.

Un valido parallelo storico con il periodo attuale è probabilmente quello con la prima guerra mondiale. All'epoca furono introdotte nuove ed entusiasmanti tecnologie fino ad allora ritenute fantascienza, che vennero poi impiegate sempre più spesso in battaglia. I primi a usarle ne ricava-


**L'AUTORE**

PETER W. SINGER dirige la 21st Century Defense Initiative della Brookings Institution, e ha scritto *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*, pubblicato nel 2009 (wiredforwar.pwsinger.com).


Cortesia iRobot (*soldato*); cortesia Peter W. Singer (*autore*)

rono un vantaggio effimero. L'invenzione e il primo sfruttamento dei carri armati da parte dei britannici, per esempio, furono superati dopo appena vent'anni, quando le tattiche di guerra lampo dei tedeschi mostrarono un modo più efficace di sfruttare le nuove armi.

L'avvento di carri armati, aerei e sottomarini fu però importante perché sollevò un nuovo insieme di questioni politiche, morali e legali che ebbero conseguenze strategiche enormi. Per esempio, la diversa interpretazione di Stati Uniti e Germania dei limiti legali che doveva rispettare l'azione dei sottomarini (potevano affondare navi mercantili senza preavviso o no?) trascinò gli Stati Uniti nella prima guerra mondiale, e quindi alla loro ascesa al rango di superpotenza. Gli aeroplani si dimostrarono utili non solo per individuare e attaccare le truppe nemiche a distanza maggiore, ma consentirono la nascita dei bombardamenti aerei, spesso sulle popolazioni civili, dando un significato del tutto nuovo all'espressione «fronte interno».

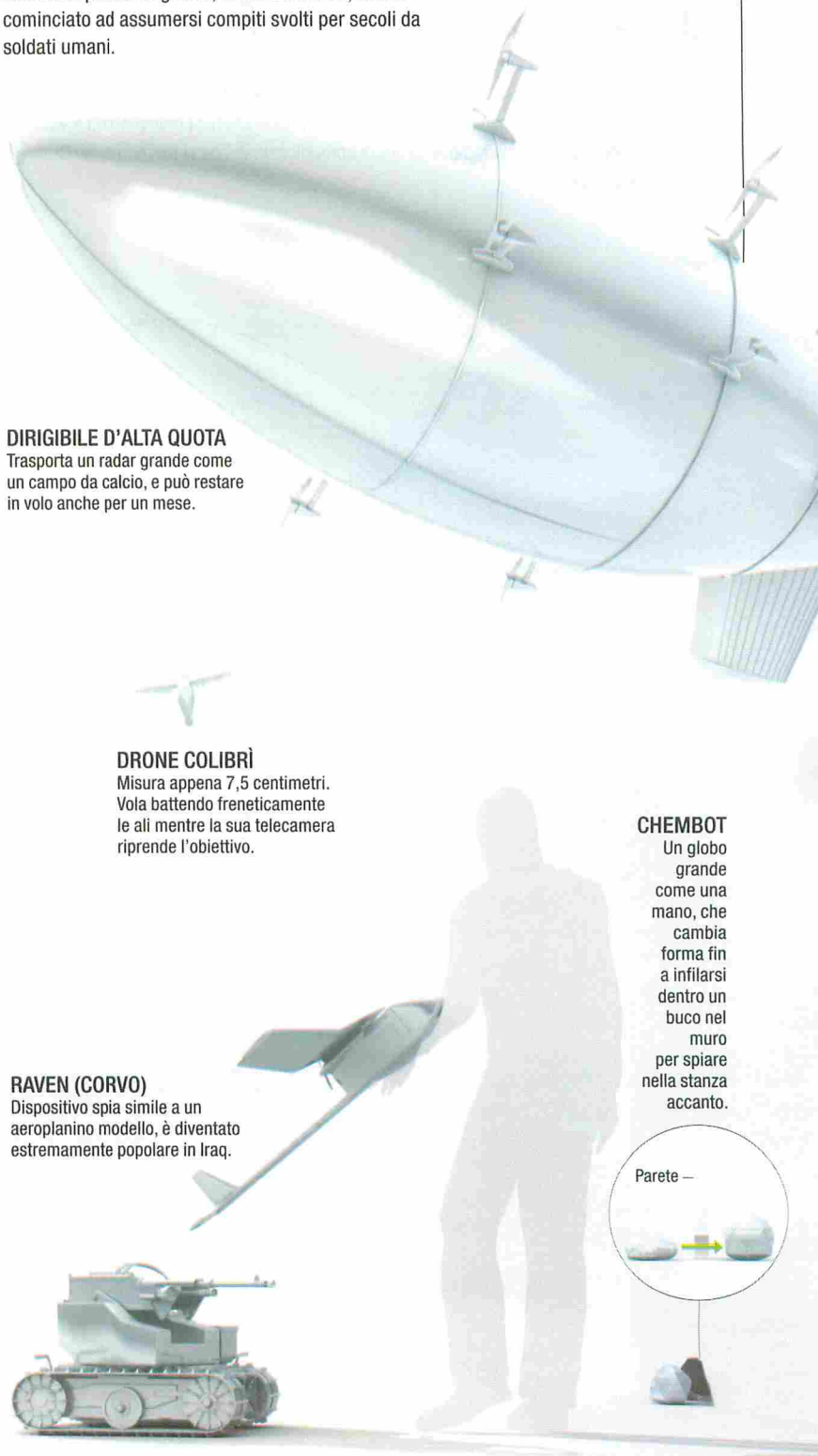
## La trama si infittisce

Oggi con la robotica militare assistiamo a qualcosa di molto simile. Prendiamo il senso dell'idea di «entrare in guerra». Per i paesi democratici significa assumersi un impegno serio e oneroso, che comprende la necessità di ottenere il favore dell'opinione pubblica per un'impresa che mette in pericolo non solo la vita dei figli dei cittadini ma la stessa sopravvivenza dello Stato. I sistemi privi di equipaggio (e la loro capacità di usare la forza a distanza) erodono il deterrente esercitato dai sentimenti dell'opinione pubblica: un declino già iniziato negli Stati Uniti con la fine, nel 1979, della coscrizione obbligatoria.

Questo distanziamento dei combattenti umani dal campo di battaglia può rendere più facile dare avvio alle guerre; e potrebbe persino cambiare il nostro modo di concepirle. Gli Stati Uniti, per esempio, hanno condotto oltre 120 incursioni aeree in Pakistan con velivoli senza pilota Predator e Reaper. È un numero di oltre tre volte superiore a quello delle missioni di bombardamento, con equipaggio, lanciate dagli Stati Uniti nella fase iniziale della guerra del Kosovo appena un decennio fa. A differenza di quella guerra, però, le incursioni dei droni sul Pakistan non hanno stimolato neanche una seduta di dibattito nel Congresso, e relativamente pochi articoli di giornale. In sostanza, ci stiamo lanciando in quella che un tempo avremmo chiamato una «guerra», ma senza alcuna deliberazione esplicita. Il conflitto non viene neppure considerato una guerra, perché si svolge senza alcun costo in termini di vite umane statunitensi.

## Uno zoo robotico

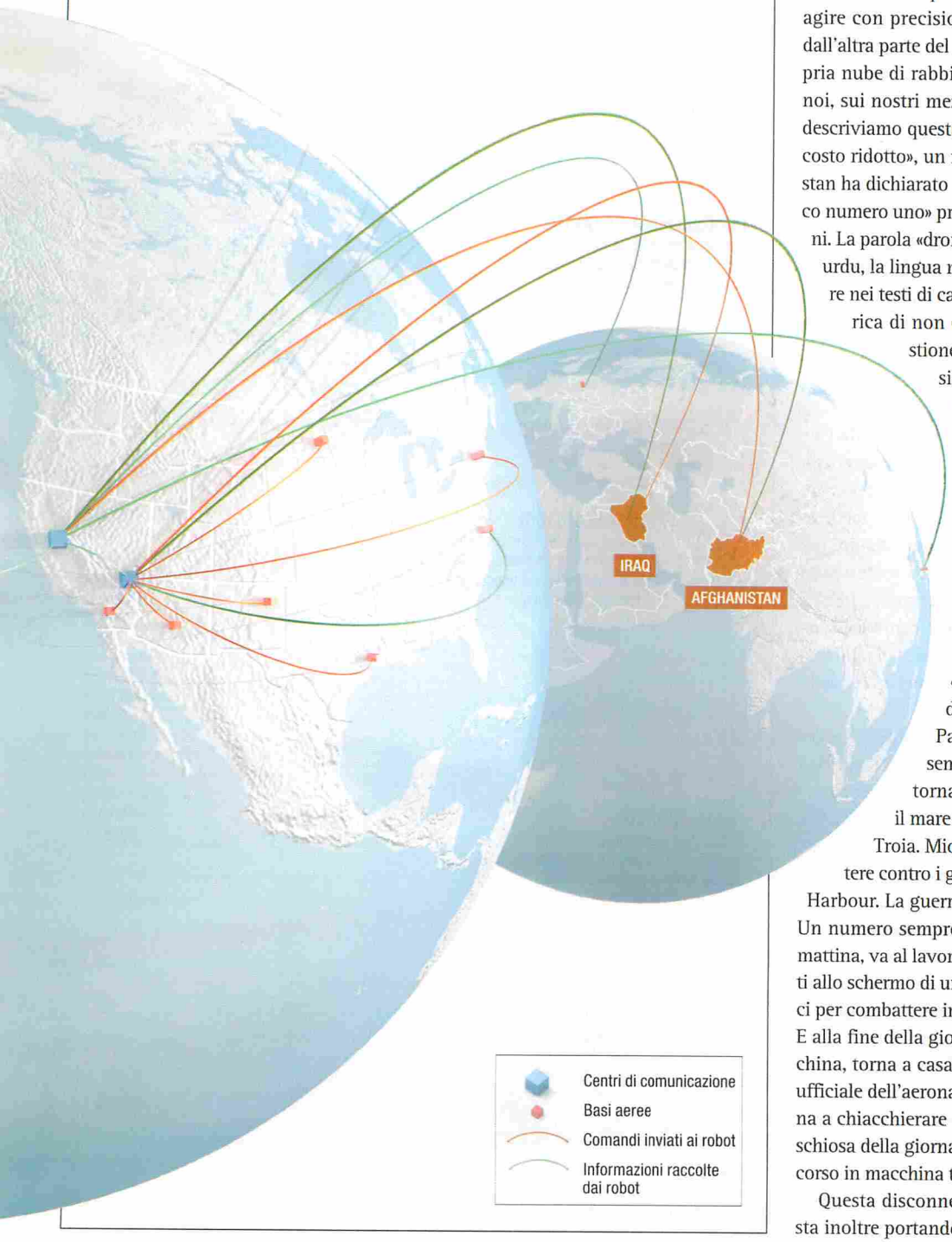
Macchine piccole e grandi, di terra e di aria, hanno cominciato ad assumersi compiti svolti per secoli da soldati umani.




Bryan Christie Design

## La guerra a distanza degli Stati Uniti

Un'intricata rete di comunicazione consente a militari delle basi statunitensi in patria e all'estero di controllare aerei senza pilota che lanciano missili o raccolgono informazioni dai fronti di combattimento in Iraq e in Afghanistan. Ogni base ha la responsabilità del controllo di uno o più tipi di velivoli (*linee in arancione*) o della ricezione dei dati di intelligence (*linee in verde*). Le informazioni si muovono da e verso l'Iraq e l'Afghanistan attraverso due centri di comunicazione che si trovano negli Stati Uniti (*cubetti in blu*).




Bryan Christie Design

Secondo un certo metro, queste operazioni sono state assai efficaci. Hanno permesso di uccidere oltre 20 capi di al Qaeda, dei *taliban* e dei gruppi loro alleati senza mettere a rischio truppe o piloti statunitensi. Ma le conseguenze di queste incursioni sollevano interrogativi ancora senza risposta.

Qual è, per esempio, l'impatto di questa tecnologia nella «guerra di idee» che stiamo combattendo contro la propaganda e il reclutamento dei terroristi? Come e perché i nostri meticolosi sforzi per agire con precisione arrivano alla gente che sta dall'altra parte del globo attraverso una vera e propria nube di rabbia e percezioni distorte? Mentre noi, sui nostri mezzi di comunicazione di massa, descriviamo questa tecnologia come «precisa» e «a costo ridotto», un importante quotidiano del Pakistan ha dichiarato che gli Stati Uniti sono «il nemico numero uno» proprio a causa di queste incursioni. La parola «drone» è diventata di uso comune in urdu, la lingua nazionale del Pakistan, e compare nei testi di canzoni rock che accusano l'America di non combattere con onore. La questione si fa ancora più complessa se ci si chiede chi deve essere chiamato a rispondere quando succede qualcosa di sbagliato. Le vittime civili, a seconda delle stime, sono state tra 200 e 1000. Ma in molti casi questi incidenti sono accaduti nelle vicinanze di alcuni dei più pericolosi capi terroristici del mondo. Dove va tracciato il confine?

Il significato dell'espressione «andare in guerra» sta cambiando anche per il singolo soldato. Partire in battaglia significa da sempre che il soldato potrebbe non tornare più. Achille e Ulisse presero il mare per andare a combattere contro Troia. Mio nonno si imbarcò per combattere contro i giapponesi dopo l'attacco a Pearl Harbour. La guerra a distanza ha cambiato tutto. Un numero sempre maggiore di soldati si alza la mattina, va al lavoro in automobile, si siede davanti allo schermo di un computer e usa sistemi robotici per combattere insorti lontani 11.300 chilometri. E alla fine della giornata «di guerra» risale in macchina, torna a casa e, per dirla con le parole di un ufficiale dell'aeronautica: «In venti minuti sei a cena a chiacchierare con i bambini». La parte più rischiosa della giornata non è la battaglia, ma il percorso in macchina tra casa e ufficio.

Questa disconnessione dal campo di battaglia sta inoltre portando a un cambiamento demogra-

fico negli incarichi, e nelle questioni che ciò solleva sull'identità (giovani appena arruolati che svolgono compiti un tempo limitati ad ufficiali di alto grado) e sul ruolo (tecnico o guerriero?) dei soldati, o sulla natura dello stress dovuto al combattimento. Può sembrare che gli operatori remoti stiano giocando a un videogame, ma in realtà vivono il peso psicologico di combattere, giorno dopo giorno, sapendo che sul terreno ci sono vite umane che dipendono dall'impeccabile esecuzione dei loro compiti. Chi li comanda descrive l'impegno di guidare le unità combattenti a distanza come molto diverso, e talvolta persino più difficile, dal condurre fisicamente in battaglia unità regolari.

Ogni passo in avanti della letalità e dell'intelligenza dei robot fa diminuire il ruolo decisionale degli esseri umani in guerra. Per esempio, la velocità del combattimento è tale che gli unici in grado di reagire abbastanza in fretta da buttar giù un razzo o un missile in arrivo sono sistemi come Counter-Rocket Artillery e Mortar, o C-RAM (che sembra un po' il robot R2-D2 di *Guerre stellari* con attaccata una mitragliatrice calibro 20). L'essere umano prende certamente parte alle decisioni, ma soprattutto nella programmazione iniziale del robot. Quando la macchina è in funzione, in realtà l'operatore ha solo potere di veto, e la decisione di scavalcare la scelta del robot deve essere presa in mezzo secondo; e pochi hanno voglia di opporsi a quella che ritengono una miglior capacità di giudizio della macchina.

Molti sostengono che questa tendenza farà diminuire i possibili errori, assicurando inoltre che le leggi di guerra vengano rispettate in modo uniforme, come fossero un software nel processore di un computer. Ma questo punto di vista ignora la complessità dell'ambiente di guerra. Un sistema senza equipaggio potrà essere in grado di vedere un uomo con un fucile AK-47 a più di un chilometro di distanza, e di dire se ha sparato da poco (grazie alla «firma» termica dell'arma); ma sapere se si tratti di un insorto, di un membro di una milizia alleata o di un semplice negoziante sarà difficile per la macchina quanto lo è oggi per i soldati umani.

E non è vero neanche che l'antichissima «nebbia di guerra» sarà dissipata da questa tecnologia. Per esempio risulta che una volta la raffinata tecnologia C-RAM abbia scambiato un elicottero dell'esercito per un bersaglio nemico in seguito a un errore di programmazione. Fortunatamente, non si fece male nessuno. Sfortunatamente, quello che un rapporto della successiva inchiesta ha chiamato «un difetto del software» in un analogo sistema anti-aereo ha prodotto nel 2007, in Sudafrica, un risultato meno benigno. Durante un'esercitazione l'arma, dotata di un cannone da 35 millimetri, avrebbe dovuto sparare verso l'alto, invece abbassò il tiro e sparò in cerchio, uccidendo nove soldati prima di finire le munizioni.

Gli incidenti di questo tipo sollevano enormi preoccupazioni legali. Come vanno divise le responsabilità? Quali sistemi legali possono offrire una base di riferimento? Questi esempi dimostrano che spesso la tecnologia va più in fretta delle istituzioni sociali. Come facciamo a riconciliare le leggi di guerra del XX secolo con la nuova realtà?

## Un nuovo inizio

I modi in cui noi consideriamo e definiamo la guerra, la maniera di combatterla e persino quelli che la combattono stanno radicalmente mutando sotto la spinta di una nuova, straordinaria tecnologia. È una situazione in cui l'umanità si è già trovata altre volte. Il miglior esempio può forse essere tratto dal Quattrocento, quando un nobile francese sostenne che le armi da fuoco erano ordigni assassini che un vero soldato avrebbe sdegnato di usare. Solo i codardi, scrisse, «possono mancare del coraggio di guardare in viso gli uomini che abbattono a distanza con le loro miserabili pallottole».

Abbiamo fatto «progressi» da quei tempi, ma oggi con la robotica la storia è molto simile. Padroneggiare la tecnologia potrebbe essere molto più facile che affrontare i dilemmi politici che nascono dalle incredibili capacità di macchine che possono cambiare il mondo circostante. È per questo che alcuni scienziati invocano un altro parallelo storico: non le armi da fuoco o l'aeroplano, ma la bomba atomica. Stiamo creando un'entusiasmante nuova tecnologia, che sta spostando le frontiere della scienza ma solleva preoccupazioni che vanno così al di là del dominio della scienza da poterci davvero far pentire di queste elaborate creazioni ingegneristiche. Naturalmente, proprio come gli inventori degli anni del Novecento, gli sviluppatori di robot continuano il loro lavoro perché è militarmente utile e altamente redditizio, oltre che scientificamente d'avanguardia. Einstein, si dice, avrebbe affermato: «Se sapessimo che cosa stiamo facendo non si chiamerebbe ricerca, no?».

La realtà è che argomenti che una volta erano cose da *convention* di fantascienza oggi devono essere discussi seriamente, e non solo in sedi come il Pentagono. È una storia che conta non solo per ciò che accadrà tra gli esperti di robotica o nei laboratori di ricerca, e neppure soltanto sui campi di battaglia, ma per l'andamento stesso della storia del genere umano. Per oltre 5000 anni il monopolio del combattimento in guerra è stato dell'umanità. Ma adesso il monopolio è finito. ■

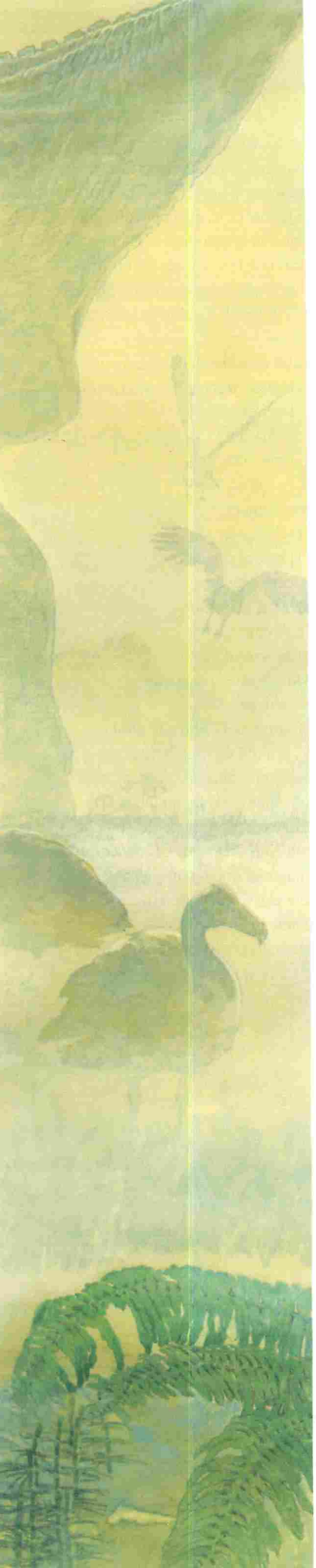
**A dispetto della precisione della tecnologia robotica, gli errori in guerra continueranno ad accadere**

## Letture


**Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century.** Singer P.W., Penguin. 2009.

**Bombs Away.** «The Economist, Technology Quarterly», p. 13, 4 marzo 2010.

**The Regulation of New Warfare.** Singer P.W., Brookings Institution. Disponibile sul sito: **www.brookings.edu/opinions/2010/0227_defense_regulations_singer.aspx.**



# Vittoria alata

## Nuove scoperte fossili indicano che gli uccelli moderni abitavano il pianeta già prima dell'estinzione dei dinosauri

di Gareth Dyke

Dicembre a Mosca. La temperatura è di 15 gradi sotto zero. I termosifoni del bar sono ormai freddi. Indosso un pesante cappotto e un paio di guanti, mentre bevo vodka e penso ai fossili di uccello esaminati al Museo di paleontologia. È il 2001, e mi trovo in Russia per studiare, insieme a Evgeny N. Kurochkin dell'Accademia delle scienze russa, tutti i fossili di uccello recuperati in Mongolia da spedizioni sovietico-mongole. Tra i resti c'è una piccola ala scoperta nel 1987 nel deserto del Gobi. Se confrontata con gli spettacolari scheletri di dinosauro conservati nella collezione del museo, quella piccola ala, con le sue delicate ossa spezzate e rimescolate alla rinfusa, è poco entusiasmante, ma offre un indizio importante grazie al quale si può concludere che la visione comune dell'evoluzione degli uccelli è sbagliata.

Oggi sulla Terra ci sono circa 10.000 specie di uccelli. Alcune si sono adattate a vivere in mare aperto, altre abitano i deserti più aridi e altre ancora riescono a sopravvivere su montagne innevate. Di sicuro, tra tutte le classi di vertebrati terrestri quella degli uccelli è la più diversificata. Per lungo tempo la biologia evolutiva ha sostenuto che gli antenati degli uccelli dei giorni nostri hanno avuto successo grazie a un asteroide che, circa 65 milioni di anni fa, ha sterminato i dinosauri e molti altri vertebrati terrestri. Questa visione era giusti-

### IN SINTESI

- È ormai assodato che gli uccelli discendano da un gruppo di piccoli dinosauri carnivori. Assai meno chiara è l'origine degli uccelli anatomicamente moderni.
- In base ai fossili, si riteneva che gli uccelli moderni fossero comparsi dopo l'impatto con l'asteroide che, 65 milioni di anni fa, ha provocato l'estinzione dei dinosauri e di altre specie.
- Ma studi molecolari e nuovi fossili hanno indicato che gli uccelli moderni hanno origini più arcaiche.
- L'analisi dei fossili di antichi uccelli moderni ha confermato questa ipotesi, ma non è chiaro perché questi uccelli, e non quelli più primitivi, sono sopravvissuti all'estinzione.

Kazuhiko Sano

FIANCO A FIANCO. Rappresentazione artistica basata su reperti fossili scoperti in Antartide. Si possono osservare esemplari di *Vegavis*, uno dei primi uccelli moderni, accanto agli adrosauri in un estuario di circa 67 milioni di anni fa.

ficata dal fatto che, sebbene gli uccelli si fossero evoluti già prima della catastrofe, le prime varietà moderne dal punto di vista anatomico si trovano solo tra i fossili successivi a quell'evento. L'origine di oche, anatre, cuculi, colibrì e altre forme moderne (che collettivamente formano la linea evolutiva dei neorniti, *Neornithes*, o «nuovi uccelli») sembrava cioè un classico caso di radiazione evolutiva conseguente a un'estinzione che aveva reso disponibili alcune nicchie ecologiche prima occupate. In questo caso le nicchie erano quelle occupate da dinosauri, rettili volanti noti come pterosauri e uccelli arcaici.

Negli ultimi dieci anni, però, un considerevole numero di fossili (tra cui l'ala trovata in Mongolia) e di dati ottenuti con l'analisi del DNA di uccelli viventi ha dimostrato che probabilmente gli uccelli si erano diversificati già prima di 65 milioni di anni fa. Queste scoperte hanno ribaltato la visione tradizionale dell'evoluzione degli uccelli e hanno sollevato nuovi interrogativi sul modo in cui questi animali hanno raggiunto le loro vette evolutive.

## I primi uccelli

Gli uccelli sono uno dei tre gruppi di vertebrati che sono stati capaci di sviluppare il volo attivo, battendo le ali. Gli altri due sono gli pterosauri, ormai estinti, e i pipistrelli, che però sono comparsi molto più tardi. Per anni i paleontologi hanno dibattuto sull'origine dei primi uccelli. Secondo alcuni, si erano evoluti da piccoli dinosauri carnivori chiamati teropodi (*Theropoda*); secondo altri invece dai primi rettili. I vari dinosauri simili a uccelli scoperti negli ultimi vent'anni, tra cui alcuni ricoperti di piume, hanno definitivamente confermato l'evoluzione dai teropodi.

Ricostruire i passaggi di questa evoluzione si è però rivelato molto difficile. Si consideri per esempio *Archaeopteryx*, la creatura risalente a 145 milioni di anni fa scoperta in Germania e considerata il più antico uccello conosciuto. *Archaeopteryx* conserva le più antiche prove di ali con penne asimmetriche capaci di generare la spinta portante necessaria al volo (una delle caratteristiche che definiscono il gruppo). Tuttavia, se lo esaminiamo da vicino, *Archaeopteryx* somiglia più ai piccoli dinosauri come *Velociraptor*, *Deinonychus*, *Anchiornis* e *Troodon* che agli uccelli moderni.

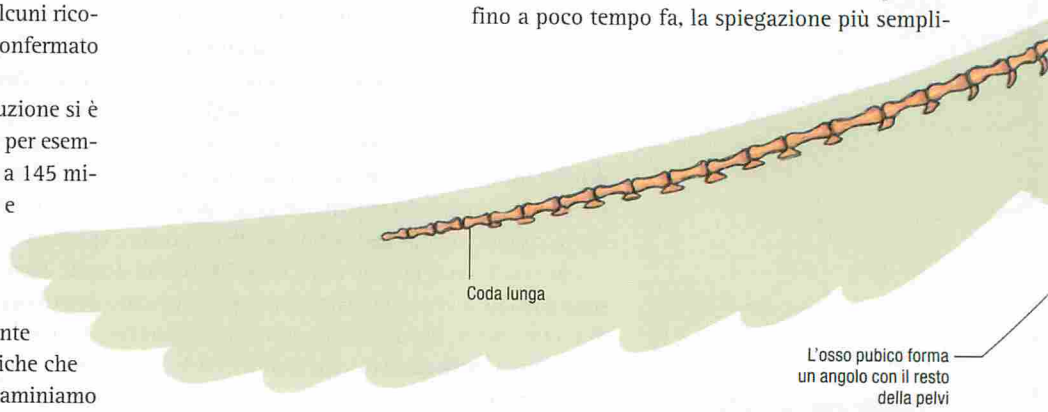
Al pari di quei dinosauri, i primi uccelli come *Archaeopteryx*, *Jeholornis* (da poco scoperto in Cina) e *Rahonavis* (scoperto in Madagascar) avevano vari tratti primitivi, quali una lunga coda ossea e, in alcuni casi, denti appuntiti. Nei neorniti queste caratteristiche sono assenti, mentre è presente una serie di tratti avanzati, tra cui falangi fuse e ali prive di dita, che riducono il peso dello scheletro e permettono una maggiore efficienza nel volo, polsi e ali molto flessibili, che migliorano la manovrabilità nell'aria. Tuttavia è impossibile determinare come e quando i neorniti hanno acquisito questi tratti, vista l'assenza di fossili databili nel periodo di transizione.

Con ciò non voglio dire che dalla documentazione fossile siano assenti resti di età intermedia tra i primi uccelli e i neorniti. Per esempio è chiaro che già nel Cretaceo inferiore, oltre 100 milioni di anni fa, si erano evoluti uccelli con un'ampia gamma di adattamenti specifici per il volo e di specializzazioni ecologiche. Alcuni avevano ali corte e larghe, altri avevano ali lunghe e sottili. Alcuni vivevano nelle foreste nutrendosi di insetti e frutti, altri abitavano le rive o le acque dei laghi e si cibavano di pesci.

Questa diversità è continuata fino alle ultime fasi del Cretaceo, 65 milioni di anni fa. Insieme ai colleghi del Museo di storia naturale di Maastricht ho descritto i resti di alcuni uccelli dentati scoperti appena al di sotto dell'orizzonte geologico che segna l'estinzione di fine Cretaceo. Gli uccelli di quel periodo però (almeno quelli sufficientemente completi da essere classificati) appartengono a linee evolutive più antiche dei neorniti, e nessuno di loro è sopravvissuto alla catastrofe. Ecco perché, fino a poco tempo fa, la spiegazione più sempli-


**L'AUTORE**

GARETH DYKE è paleontologo allo University College di Dublino. Nel condurre le sue ricerche sull'evoluzione degli uccelli e del volo ha studiato e descritto fossili di ogni parte del mondo.


GLI UCCELLI SI SONO EVOLUTI A PARTIRE DA PICCOLI DINOSAURI CARNIVORI. Per questo alcuni dei più antichi uccelli fossili conosciuti, tra cui *Archaeopteryx*, risalente a 145 milioni di anni fa, conservano diverse caratteristiche primitive che li collegano al gruppo dei teropodi (per esempio, i denti e una lunga coda). Gli uccelli moderni hanno perso queste caratteristiche, sviluppando ali prive di dita, polsi più flessibili e altri tratti che ne hanno migliorato le capacità di volo.

Patricia J. Wynne

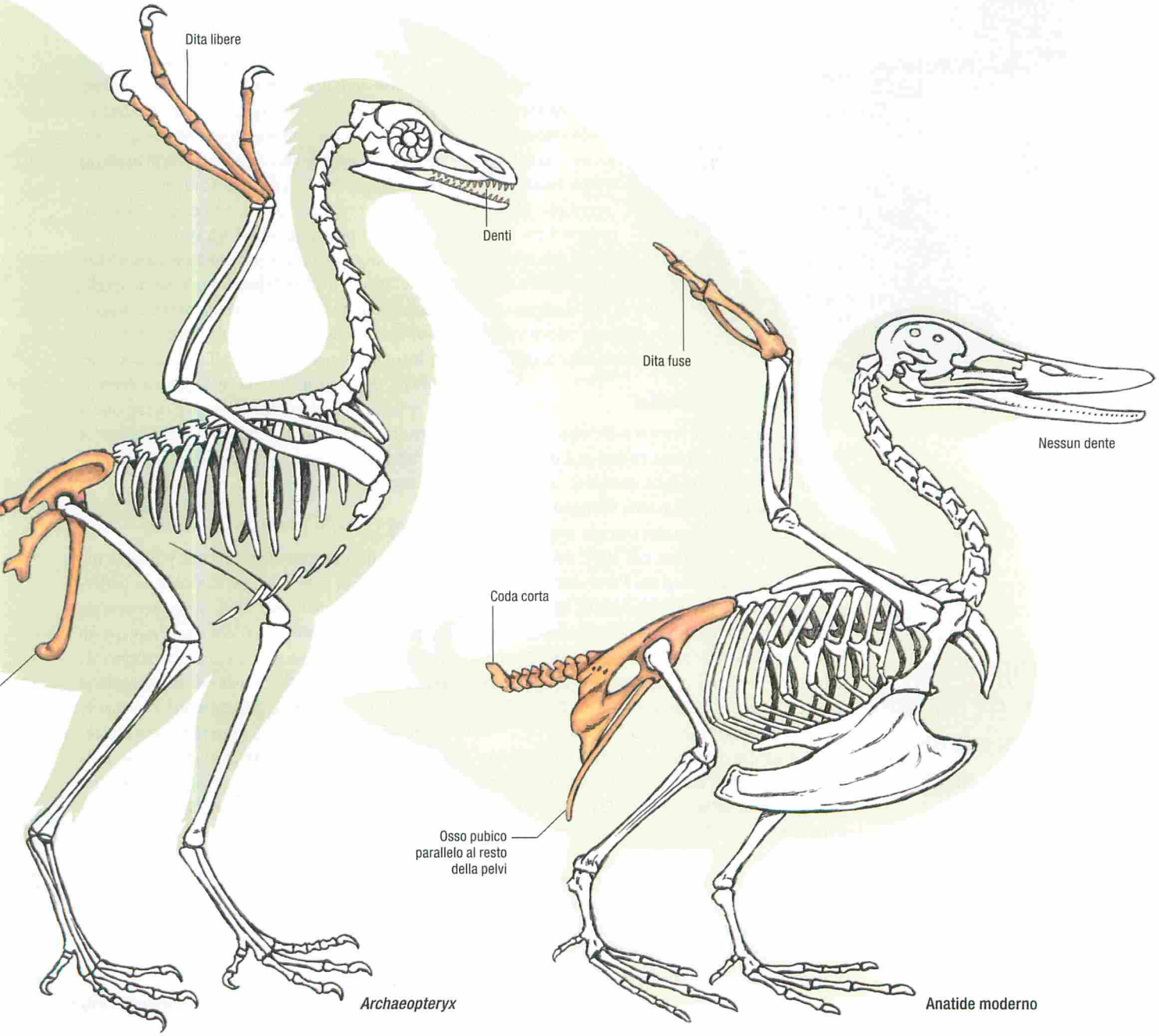
ce con le prove disponibili era che origine e radiazione degli uccelli moderni fossero avvenute dopo l'estinzione.

## Indizi molecolari

Negli anni novanta, mentre i paleontologi cercavano invano esemplari arcaici di neorniti, si è diffuso un nuovo metodo con cui ricostruire la storia evolutiva degli organismi senza ricorrere ai fossili. I biologi molecolari hanno iniziato a sequenziare il DNA degli organismi viventi e poi a confrontare tra loro le sequenze ottenute per stimare quanto tempo prima due gruppi si erano separati. Queste stime sono possibili perché alcune parti del genoma hanno un tasso di mutazione più o meno costante, e quindi funzionano come un orologio molecolare.

I biologi molecolari dubitavano della visione classica, basata sui fossili, dell'evoluzione degli uccelli moderni. Quindi hanno affrontato il problema con la tecnica dell'orologio molecolare per stimare le date di divergenza delle principali linee evolutive degli uccelli moderni. Tra i punti di separazione più importanti c'è quello che ha diviso i grandi paleognati incapaci di volare (struzzi, emù e loro parenti) dal superordine dei *Galloanserae* (che include galliformi, come i polli, e anseriformi, come anatre e oche). Gli studi sul DNA hanno concluso

**Fa sorridere il pensiero di un pettirosso poggiato sul dorso di un *Velociraptor* o di un'anatra che nuota a fianco di uno *Spinosaurus***



## LE PROVE

**Lo scheletro incompleto di Vegavis, proveniente dall'isola di Vega, in Antartide, mostra che già 67 milioni di anni fa esisteva un uccello con caratteristiche tipicamente moderne, come un ampio cingolo scapolare e le ossa delle ali fuse tra loro.**

che queste due linee evolutive (le più primitive degli attuali neorniti) si sono separate durante il Cretaceo. E i ricercatori hanno ottenuto date di divergenza così antiche anche per altre linee evolutive.

Queste scoperte hanno implicato che, al contrario di quanto ritenevano i paleontologi, all'epoca dei dinosauri erano già presenti alcuni uccelli anatomicamente moderni. Potrebbe fare sorridere il pensiero di un pettirosso poggiato al dorso di un *Velociraptor* o di un'anatra che nuota a fianco di uno *Spinosaurus*. Ma le prove molecolari della contemporaneità di uccelli moderni e dinosauri erano incontrovertibili al punto che addirittura i paleontologi (che hanno sempre visto con scetticismo le scoperte genetiche in contrasto con la documentazione fossile) avevano iniziato ad accettarle. Ma i ricercatori che come me studiano scheletri antichi avevano bisogno di una conferma fossile di questa nuova visione dell'evoluzione degli uccelli.

### Arrivano le risposte

Finalmente, con il nuovo millennio, la paleontologia ha potuto contare su nuove e interessanti scoperte, a cominciare dalla minuscola ala mongola che io e Kurochkin stavamo studiando a Mosca. Kurochkin mi ha detto che quando aveva visto il fossile per la prima volta, nel 1987, aveva pensato che fosse un membro dei *Presbyornithidae*, un gruppo di uccelli simili agli anatidi, oggi estinto, imparentato con anatre e oche moderne. L'età del fossile però era di 70 milioni di anni: quindi era un uccello del Cretaceo, e tutti sapevano (o credevano di sapere) che non c'erano prove definitive dell'esistenza di *Presbyornithidae* nel Cretaceo.

Ma le analisi del 2001 hanno dimostrato in modo definitivo che l'ala, con il suo carpometacarpo (l'osso formato dalla fusione delle ossa della mano) dritto e altri dettagli relativi a canali, creste e punti di inserzione dei muscoli, era senza dubbio di un membro dei *Presbyornithidae*. Si trattava inoltre del più antico rappresentante accertato di un qualsiasi gruppo di neorniti. La nostra scoperta era in perfetto accordo con quelle dei biologi molecolari. Abbiamo descritto l'animale in uno studio pubblicato nel 2002, dandogli il nome di *Teviornis*.

In poco tempo, a *Teviornis* si è aggiunto un altro genere appartenente ai neorniti primordiali, *Vegavis*, dall'isola di Vega, in Antartide. *Vegavis* era stato scoperto negli anni novanta, e per anni è rimasto un fossile senza significato. Poi nel 2005 Julia A. Clarke, oggi all'Università del Texas ad Austin, ha pubblicato uno studio in cui ha dimostrato che anche *Vegavis* è un uccello del Cretaceo, con diversi tratti tipici dei moderni anatidi, visibili per esempio nell'ampio cingolo scapolare, nella pelvi, nelle ossa delle ali e negli arti inferiori. Con un'età compresa tra 66 e 68 milioni di anni, *Vegavis* è un po' più giovane di *Teviornis*, ma è comunque antecedente all'estinzione di massa. Si tratta inoltre di un fossile molto più completo, in cui si è conservata gran parte dello scheletro.

Per la maggior parte dei paleontologi, *Vegavis* ha chiuso definitivamente il dibattito sull'esistenza di neorniti nel Cretaceo. Gli scienziati hanno allora iniziato a riesaminare i reperti di quel periodo, sperando di trovare altri esempi di uccelli moderni. Sylvia Hope, della California Academy of Sciences di San Francisco, aveva scoperto in New Jersey e in Wyoming fossili di età compresa tra 80 e 100 milioni di anni, e per anni aveva sostenuto che fossero fossili di specie moderne di uccelli. Le sue scoperte però (per la maggior parte singole ossa) erano considerate dagli altri ricercatori troppo incomplete per essere identificate in modo definitivo. Oggi le conclusioni su *Vegavis* e *Terviornis* sembrano indicare che Hope aveva ragione, e il confronto delle ossa scoperte dalla ricercatrice con altri resti più completi dovrebbe fare luce sulla questione.

### Nuovi uccelli prendono il volo

Situando l'origine degli uccelli moderni nel Cretaceo, i dati paleontologici si allineano perfettamente con le analisi del DNA. Sorge però un'altro problema: non è chiaro per quale motivo gli uccelli moderni sono stati in grado di sopravvivere all'impatto con l'asteroide che ha sterminato gli uccelli più primitivi e gli pterosauri. Per quanto mi riguarda, questo è il più grande mistero che resta da risolvere per chiarire in modo definitivo la storia evolutiva degli uccelli, e sto dedicando buona parte della mia attività alla ricerca di una possibile risposta.

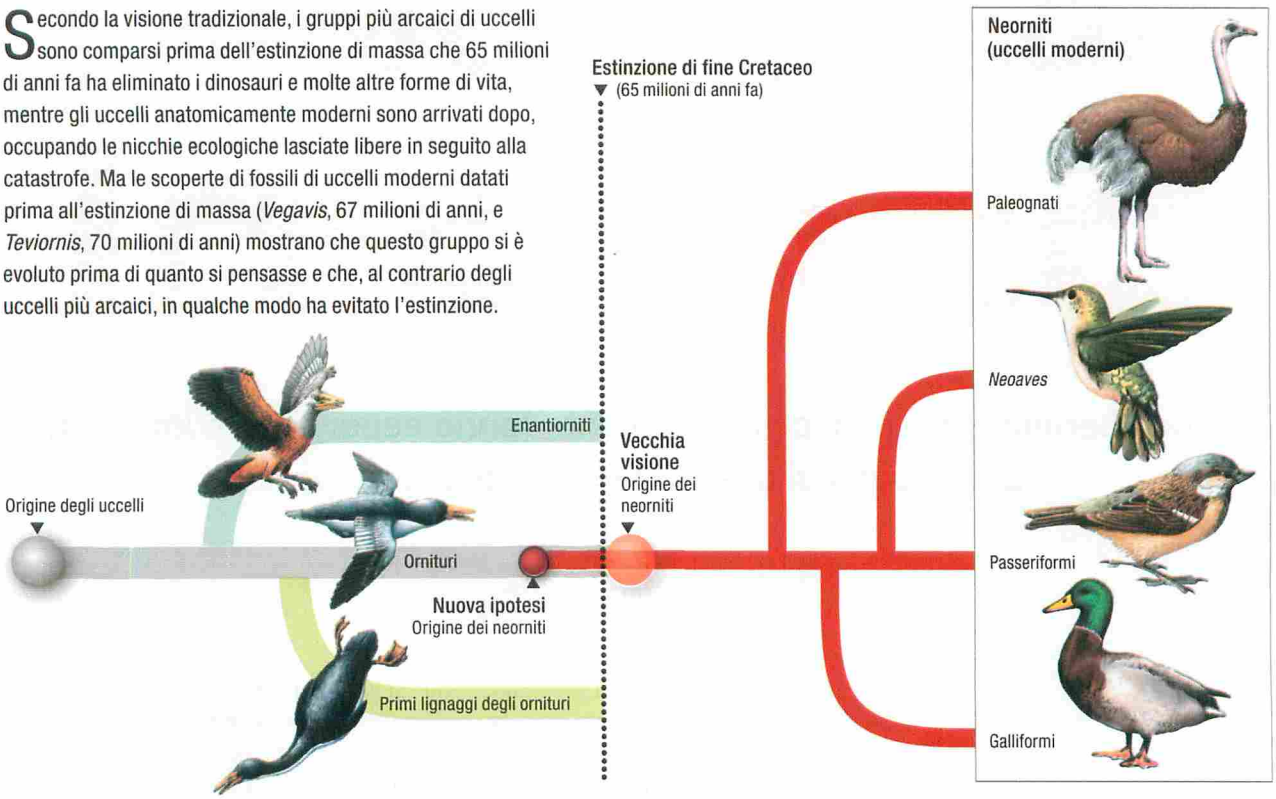
I fossili identificati in modo definitivo come neorniti del Cretaceo sono solo un paio, ma è possibile ottenere altre informazioni dallo studio degli uccelli viventi. Grazie a un'enorme raccolta di dati riguardanti gli uccelli viventi, abbiamo dimostrato, per esempio, che le proporzioni delle ossa delle ali degli uccelli moderni più primitivi (tra

**Non sappiamo perché gli uccelli moderni sono sopravvissuti all'estinzione di massa che ha sterminato gli uccelli più primitivi e gli pterosauri**

Da *Definitive fossil evidence for the extant avian radiation in the Cretaceous*, di Julia A. Clarke e altri, in «Nature», Vol. 433, 20 gennaio 2005

## Origini antiche

Secondo la visione tradizionale, i gruppi più arcaici di uccelli sono comparsi prima dell'estinzione di massa che 65 milioni di anni fa ha eliminato i dinosauri e molte altre forme di vita, mentre gli uccelli anatomicamente moderni sono arrivati dopo, occupando le nicchie ecologiche lasciate libere in seguito alla catastrofe. Ma le scoperte di fossili di uccelli moderni datati prima all'estinzione di massa (*Vegavis*, 67 milioni di anni, e *Teviornis*, 70 milioni di anni) mostrano che questo gruppo si è evoluto prima di quanto si pensasse e che, al contrario degli uccelli più arcaici, in qualche modo ha evitato l'estinzione.




Shawn Gould (*uccelli fossili e passeri*); Jon Christiansen (*colibrì, struzzo e papera*)

cui *Teviornis* e *Vegavis*) sono uguali a quelle degli enantiorniti, oggi estinti.

Confrontando le proporzioni delle ossa delle ali dei fossili con quelle degli uccelli viventi siamo in grado di dedurre alcuni aspetti della forma delle ali e, di conseguenza, delle capacità aerodinamiche degli antichi uccelli. Ma per quanto abbiamo potuto osservare la forma delle ali non differisce nei due gruppi fossili. In altre parole, non riteniamo che i primi neorniti avessero migliori capacità di volo rispetto agli enantiorniti (sebbene molto probabilmente erano migliori volatori rispetto agli uccelli precedenti più simili ai teropodi, come per esempio *Archaeopteryx*).

Ma allora che cosa ha permesso ai neorniti di sopravvivere, se le capacità di volo non hanno dato un vantaggio rispetto ai loro contemporanei del Cretaceo? Alcuni paleontologi, me compreso, hanno ipotizzato che il vantaggio evolutivo sia potuto dipendere dalle abitudini alimentari. A sostegno di questa teoria ho mostrato, in una serie di articoli pubblicati negli ultimi anni, che gli uccelli moderni risalenti all'epoca immediatamente successiva all'estinzione di massa, conservati in rocce con un'età pari o inferiore a 60 milioni di anni, probabilmente vivevano soprattutto negli ambienti umidi, come coste, laghi, rive di fiumi e mari.

Molti degli uccelli che oggi vivono in questi ambienti (tra cui gli anatidi) sono generalisti, cioè si nutrono di una grande varietà di cibo. (La linea evolutiva che abbiamo trovato nel Cretaceo è formata proprio da uccelli simili agli anatidi.) Gli uccelli che non sono sopravvissuti al disastro, invece, sono stati trovati all'interno di rocce provenienti da svariati tipi di ambiente, tra cui litorali, aree interne, deserti e foreste. Una simile diversità ecologica potrebbe indicare che gli uccelli arcaici avessero sviluppato specializzazioni alimentari per ciascuna di queste nicchie. Forse il segreto del successo degli uccelli moderni si trova semplicemente nel fatto che erano meno specializzati degli altri gruppi.

Una simile flessibilità potrebbe avere permesso ai neorniti di adattarsi più facilmente ai mutamenti successivi all'impatto dell'asteroide con il nostro pianeta. È un'idea interessante, ma è ancora tutta da dimostrare. Solo la scoperta di altri fossili (nel terreno o negli archivi di qualche museo) ci permetterà di determinare in che modo gli uccelli moderni hanno evitato l'estinzione. ■

## Letture


**A new Presbyornithid Bird (Aves, Anseriformes) from the Late Cretaceous of Southern Mongolia.** Kurochkin E.N., Dyke G.J. e Karhu A.A., in «American Museum Novitates», n. 3866, pp. 1-12, 27 dicembre 2002.

**Survival in the First Hours of the Cenozoic.** Robertson D.S. e altri, in «Geological Society of America Bulletin», Vol. 116, n. 5-6, pp. 760-768, maggio 2004.

**Definitive Fossil Evidence for the Extant Avian Radiation in the Cretaceous.** Clarke J.A. e altri, in «Nature», Vol. 433, pp. 305-308, 20 gennaio 2005.

**The Inner Bird: Anatomy and Evolution.** Kaiser G.W., University of British Columbia Press, 2007.

**The Beginnings of Birds: Recent Discoveries, Ongoing Arguments and New Directions.** Chiappe L.M. e Dyke G.J, in *Major Evolutionary Transitions*, Indiana University Press, 2007.

# Cosa pensano i bambini

## Anche i bambini molto piccoli conoscono, fanno esperienze e imparano. E molto più di quanto pensassero gli esperti

di Alison Gopnik
fotografie di Timothy Archibald

**IN SINTESI**

- Le capacità cognitive dei bambini molto piccoli sono decisamente superiori a quanto si ritenesse. Per esempio immaginano le esperienze di un'altra persona e colgono le relazioni causa-effetto.
- I bambini imparano a conoscere il mondo come gli scienziati: eseguono esperimenti, analizzano statistiche e formulano teorie che spiegano le loro osservazioni.
- La lunga fase di immaturità dei bambini è una sorta di bilanciamento evolutivo, una conseguenza necessaria dell'avere un cervello ricco di circuiti che consentono un apprendimento e una creatività straordinari.

Trent'anni fa gran parte degli psicologi, dei filosofi e degli psichiatri pensava che i bambini molto piccoli fossero irrazionali, egocentrici e amorali. Li consideravano bloccati nel presente e nel concreto, incapaci di capire la relazione tra causa ed effetto, di immaginare le esperienze delle altre persone o di valutare la differenza tra realtà e fantasia. Ed è ancora diffusa l'idea che i bambini siano adulti imperfetti.

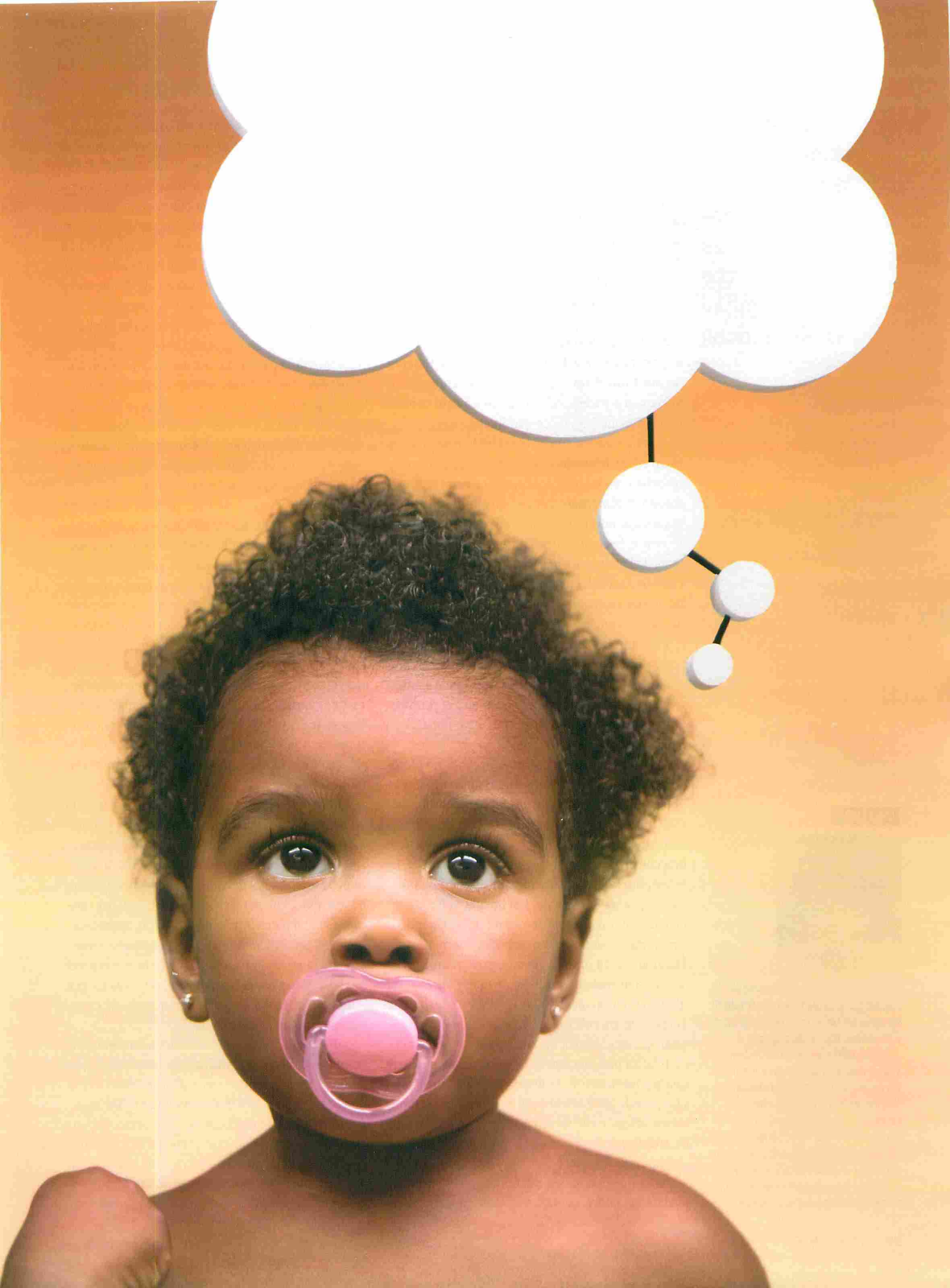
Ma in questi trent'anni gli scienziati hanno scoperto che i bambini, anche molto piccoli, sanno più cose di quanto credessimo possibile. E non solo: le ricerche suggeriscono che i bambini conoscano il mondo come fanno gli scienziati: facendo esperimenti, analizzando statistiche e formulando teorie intuitive sul mondo fisico, biologico e psicologico. Circa dieci anni fa i ricercatori hanno iniziato a capire i meccanismi computazionali, evolutivi e neurologici su cui si basano queste notevoli abilità precoci, effettuando scoperte rivoluzionarie che, oltre a cambiare ciò che pensiamo dei bambini, gettano nuova luce sulla natura umana.

### Fisica per bebè

Come mai ci siamo sbagliati così a lungo sui bambini? Osservando sbrigativamente bambini di quattro anni, o più piccoli – la fascia di età di cui parlerò in queste pagine – si potrebbe concludere che non succede un granché. Del resto i lattanti non ci parlano, e anche quando sono un po' più grandi non sono molto bravi nel raccontarci ciò che gli passa per la testa. Fate una domanda a risposta libera a un bambino di tre anni e probabilmente otterrete un monologo bello e incomprensibile, sul filo del suo flusso di coscienza. I primi ricercatori, come il pioniere della psicologia infantile Jean Piaget, avevano concluso che il pensiero dei bambini fosse irrazionale e illogico, egocentrico e «precausale», ovvero incapace di concepire la relazione tra causa ed effetto.

I nuovi studi, iniziati sul finire degli anni settanta, si affidano a tecniche che si concentrano sulle azioni dei bambini, non sulle loro parole. Neonati e lattanti, per esempio, osservano più a lungo eventi nuovi o inattesi rispetto a eventi più prevedibili, e i ricercatori possono usare questo comportamento utile per capire che cosa si aspettano che succeda. I risultati più solidi arrivano però da studi che osservano anche le azioni: quali sono gli oggetti che cercano di afferrare o di raggiungere gattonando? In quale modo i lattanti e i bimbi un po' più grandi imitano le azioni delle persone intorno a loro?

Benché i bambini molto piccoli abbiano difficoltà a raccontarci ciò che pensano, possiamo usare il linguaggio in modo più sottile per dedurre le loro conoscenze. Per esempio Henry Wellman, dell'Università del Michigan ad Ann Arbor, ha analizzato le registrazioni di conversazioni spontanee dei bambini cercando indizi del loro pensiero. Oppure possiamo porre a un bambino domande molto mirate – chiedendogli, per esempio, di sce-



**Le ricerche documentano la presenza di una sofisticata conoscenza astratta nei bambini molto piccoli**

gliere solo tra due alternative, invece di interrogativi che prevedono una risposta più libera.

A metà degli anni ottanta e per tutti gli anni novanta, queste tecniche hanno permesso agli scienziati di scoprire che i lattanti sanno già un sacco di cose sul mondo circostante. E che questa conoscenza va ben oltre le sensazioni concrete, legate al presente. Alcuni ricercatori, come Renée Baillargeon, dell'Università dell'Illinois, ed Elizabeth S. Spelke, della Harvard University, hanno scoperto che i bimbi capiscono relazioni fisiche fondamentali come le traiettorie dei movimenti, la forza di gravità e le relazioni di contenimento. Osservano più a lungo una macchinina che sembra attraversare una parete solida rispetto a eventi coerenti con i principi della fisica quotidiana.

A tre o quattro anni, i bambini hanno idee elementari di biologia e una prima comprensione della crescita, dell'ereditarietà e della malattia. Questa rudimentale conoscenza biologica rivela che, quando ragionano sugli oggetti, i bambini non si fermano alle apparenze. Susan A. Gelman, dell'Università del Michigan, ha scoperto che i bambini piccoli credono che animali e piante abbiano «un'essenza»: un nucleo invisibile che rimane identico anche se l'aspetto esteriore cambia.

Per i lattanti e i bambini più piccoli la conoscenza più importante è quella delle altre persone. Andrew N. Meltzoff, dell'Università di Washington, ha dimostrato che i neonati sono già consapevoli che le persone sono speciali, e ne imiteranno la mimica facciale.

Nel 1996, insieme a Betty Repacholi, ho dimostrato che i bambini di 18 mesi capiscono che io potrei volere una cosa, mentre tu ne vorresti un'altra. Un ricercatore ha mostrato ad alcuni bambini di età compresa tra i 14 e i 18 mesi un piatto di broccoli crudi e uno di cracker a forma di pesce, ha assaggiato un po' di ciascuno, mostrando una faccia disgustata o contenta. Poi ha allungato la mano e ha chiesto: «Me ne daresti un po'?». Quando si comportava come se i broccoli gli fossero piaciuti, i bambini di 18 mesi gli passavano il piatto, anche se non li avrebbero scelti per sé (quelli di 14 mesi gli davano immancabilmente i cracker). Insomma, anche a un'età così precoce i bambini non sono totalmente egocentrici, ma sanno mettersi nei panni di un'altra persona, anche se in modo semplice. A quattro anni, la loro comprensione della psicologia quotidiana è ancora più precisa. Per esempio sanno spiegare che una persona sta agendo in modo strano perché è convinta di qualcosa che non corrisponde al vero.

Per la fine del XX secolo, quindi, gli esperimenti avevano già documentato una straordinaria e sofisticata conoscenza astratta nei bambini molto piccoli e una crescita non meno impressionante di quella conoscenza con il passare degli anni. Alcuni scienziati hanno addirittura proposto che i bambini nascano conoscendo già buona parte di ciò che sanno gli adulti sul comportamento degli oggetti e delle persone. Non c'è dubbio che i neonati non siano affatto una lavagna vuota, ma i cambiamenti nelle loro conoscenze indicano che imparano a conoscere il mondo anche dalle esperienze.

Uno dei grandi misteri della psicologia e della filosofia è come gli esseri umani imparino a conoscere il mondo a partire da una massa confusa di dati sensoriali. Nel decennio scorso abbiamo cominciato a capire molto meglio come neonati e bimbi piccoli imparano queste cose con tanta velocità e accuratezza. In particolare si è scoperto che i bambini, neonati compresi, hanno una straordinaria capacità di imparare dagli andamenti statistici.

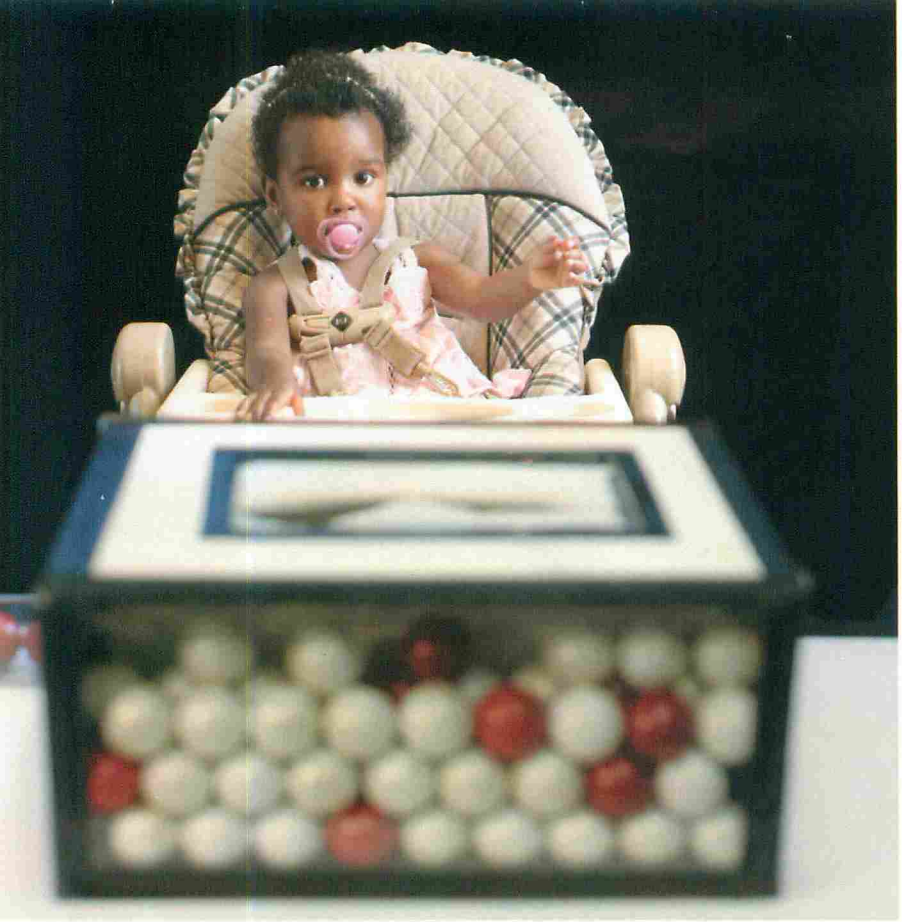
Nel 1996 Jenny R. Saffran, Richard N. Aslin ed Elissa L. Newport, allora all'Università di Rochester, dimostrarono per la prima volta questa capacità con studi basati sul suono di pattern linguistici. Presentavano a neonati di otto mesi sequenze di sillabe con regolarità statistiche; per esempio, «bi» seguiva «ro» solo un terzo delle volte, mentre «da» veniva sempre dopo «bi». Poi hanno presentato nuove sequenze di suoni che seguivano quello schema oppure lo infrangevano. I bambini ascoltavano più a lungo le sequenze statisticamente insolite. Studi più recenti indicano che i neonati possono individuare andamenti statistici di note musicali e di scene visive, e anche schemi grammaticali più astratti.

I bimbi piccoli sono persino in grado di capire la relazione tra un campione statistico e una popolazione. In uno studio del 2008 Fei Xu, dell'Università della California, ha mostrato a bambini di otto mesi una scatola di palline da ping-pong miste: per esempio, l'80 per cento bianche e il 20 per cento rosse. Poi ha estratto cinque palline, apparentemente a caso. I bambini erano più sorpresi (guardavano la scena più a lungo e con più attenzione) quando estraeva quattro palline rosse e una bianca – un esito improbabile – che non quando ne estraeva quattro bianche e una rossa.

Rilevare gli andamenti statistici è il primo passo nella scoperta scientifica. Ma la cosa più notevole è che i bambini (come gli scienziati) usano quelle statistiche per trarre conclusioni sul mondo. In una versione del test con le palline su bimbi di 20 mesi, usando ranocchie verdi e paperelle gialle, la ricercatrice estraeva cinque giocattoli dalla scatola e poi domandava al bimbo di darglielne uno scegliendo tra quelli che aveva messo sul

**L'AUTORE**

ALISON GOPNICK è professore di psicologia e professore associato di filosofia all'Università della California a Berkeley. Ha svolto ricerche d'avanguardia su come i bambini sviluppano una teoria della mente. Ha poi formulato la «teoria della teoria», vale a dire l'idea che i bambini imparino usando un approccio di tipo scientifico. È convinta che gli studi sulla mente dei bambini possano aiutare a risolvere questioni filosofiche fondamentali, come il mistero della coscienza.



tavolo. I piccoli non mostravano alcuna preferenza tra i colori se aveva preso soprattutto rane verdi dalla scatola con una prevalenza di giochi di quel colore. Ma se da quella stessa scatola aveva preso soprattutto papere, allora le porgevano una paperella: evidentemente pensavano che la sua scelta statisticamente improbabile significasse che non agiva a caso, e che quindi preferisse le paperelle.

## Caccia ai blicket

Nel mio laboratorio abbiamo studiato il modo in cui i bambini in tenera età usano informazioni statistiche ed esperimenti per farsi un'idea della relazione tra causa ed effetto, e abbiamo scoperto che il loro pensiero non è affatto «precausale». Presentiamo ai bambini un «rilevatore di blicket» [nelle scienze cognitive, il neologismo *blicket* indica elementi anomali, per esempio «non parole», usate per determinare la capacità di dedurre categorie e schemi generali, N. d. R.], vale a dire una macchina che si accende e suona musica quando vi si appoggiano sopra alcuni oggetti ma non altri. Poi diamo ai bambini informazioni sui pattern regolari del rivelatore e osserviamo le loro conclusioni causali. Quali oggetti sono i blicket?

Nel 2007, con Tamar Kushnir, ho scoperto che i bambini in età prescolare sanno usare le probabilità per imparare come funziona la macchina. Abbiamo presentato un pattern in cui la macchina si accendeva due volte su tre posandovi sopra un blocchetto giallo e due volte su sei con un blocchetto blu. Poi abbiamo dato i blocchetti ai bambini chiedendo loro di far accendere la macchina. I piccoli, anche se erano ancora incapaci di eseguire somme e sottrazioni, mettevano più spesso sulla macchina il blocchetto giallo. Inoltre facevano la scelta giusta anche quando ci limitavamo a passare il blocchetto più probabile sulla macchina, attivandola senza toccarla. Benché all'inizio dell'esperimento pensassero (glielo avevamo chiesto) che questo tipo di «azione a distanza» fosse improbabile, i bambini usavano la probabilità per scoprire fatti nuovi e sorprendenti sul mondo.

In un altro esperimento abbiamo mostrato a bambini di quattro anni un giocattolo con un interruttore e due ingranaggi – uno blu e uno giallo – sulla parte superiore, che giravano quando si azionava l'interruttore. Questo semplice giocattolo può funzionare in molti modi. L'interruttore può attivare tutti e due gli ingranaggi, oppure attivare quello blu, che attiva a sua volta quello giallo e così via.

Abbiamo mostrato ai bambini figure che illustravano ciascuna di queste possibilità (per esempio si vedeva l'ingranaggio giallo mettere in movimento quello blu). Poi abbiamo mostrato loro altri giocattoli che funzionavano in uno di quei modi fornendo informazioni piuttosto complesse sul funzionamento di ciascuno. Per esempio, i bambini che avevano ricevuto la «catena causale» vedevano che, togliendo l'ingranaggio blu e azionando l'interruttore, l'ingranaggio giallo poteva ancora girare, e che se invece si toglieva l'ingranaggio giallo accendendo l'interruttore non succedeva nulla. Poi abbiamo chiesto ai bambini di scegliere la figura corrispondente al funzionamento del giocattolo. A quattro anni erano incredibilmente bravi a stabilire come funzionava il giocattolo sulla base delle informazioni ricevute. Per di più, lasciando soli altri bambini con i giocattoli, ne muovevano gli ingranaggi in modo da capirne il funzionamento: proprio come se stessero sperimentando.

In un altro studio Laura Schultz, ora al Massachusetts Institute of Technology, ha usato un giocattolo con due leve, da cui saltavano fuori una papera e un burattino. A primo gruppo di bambini in età prescolare è stato mostrato che la papera appariva premendo la prima leva e il burattino premendo l'altra. Un secondo gruppo vedeva invece che premendo le leve contemporaneamente saltavano fuori entrambi i giocattoli, ma non aveva mai la possibilità di vedere che cosa facevano le leve separatamente. Lasciati da soli con i giocattoli, i bambini del primo gruppo ci giocavano molto meno di quelli del secondo gruppo: sapeva-

## UNA MENTE STATISTICA

I bimbi piccoli sono abili analisti statistici. Gli esperimenti hanno dimostrato che bambini di otto mesi si accorgono se un numero improbabile di palline rosse viene estratto da un insieme di palline prevalentemente bianche. Alterando gli esperimenti – per esempio scambiando il ruolo del rosso e del bianco – hanno escluso spiegazioni alternative, come un maggiore interesse per gli oggetti rossi. Bambini di 20 mesi hanno dedotto che una persona che estrae un numero insolitamente grande del colore più raro preferisce ricevere una pallina di quel colore. Ne consegue che lattanti e bambini un po' più grandi imparano a conoscere il mondo come fanno gli scienziati: individuando regolarità statistiche e traendone conclusioni.

no già come funzionava, ed erano meno interessati a esplorarlo. Il secondo gruppo, alle prese con un mistero, si metteva a giocare spontaneamente, scoprendo facilmente il ruolo di ciascuna leva.

Questi risultati indicano che i bambini, durante il gioco spontaneo, fanno esperimenti ed esplorano i rapporti di causa ed effetto: il modo più efficace per scoprire come funziona il mondo.

## Il bambino computer

I bambini ovviamente non fanno esperimenti e analisi statistiche con la stessa consapevolezza di uno scienziato adulto. Tuttavia il loro cervello deve elaborare in modo inconscio le informazioni con una modalità che ricalca i metodi della scoperta scientifica. L'idea centrale delle scienze cognitive è che il cervello sia una specie di computer progettato dall'evoluzione e programmato dall'esperienza.

Oggi informatici e filosofi usano idee matematiche sulla probabilità per capire le eccellenti capacità di apprendimento di scienziati e bambini. Un approccio totalmente nuovo allo sviluppo di programmi per l'apprendimento nelle macchine usa i cosiddetti modelli probabilistici, detti anche modelli o reti bayesiane. Da esso sono nate inoltre nuove idee su come potrebbe funzionare il computer nella testa dei bambini.

I modelli probabilistici combinano due idee di base. La prima è il ricorso alla matematica per descrivere le ipotesi dei bambini su cose, persone o parole. Per esempio possiamo rappresentare la conoscenza causale di un bambino come una mappa delle relazioni causali tra eventi; una freccia potrebbe puntare da «premi leva blu» a «papera salta fuori» per rappresentare quella ipotesi.

In secondo luogo, i programmi correlano sistematicamente le ipotesi alla probabilità di differenti pattern di eventi, il tipo di struttura che, nella scienza, emerge dagli esperimenti e dall'analisi statistica: le ipotesi che si sposano meglio con i dati diventano più probabili. Ritengo che il cervello dei bambini correli in modo simile le ipotesi sul mondo ai pattern di probabilità. I bambini ragionano in modi sottili e complessi, che non si possono spiegare con associazioni semplici o regole.

Per di più, quando usano inconsciamente l'analisi statistica bayesiana i bambini potrebbero essere più bravi degli adulti nel considerare possibilità insolite. In uno studio, insieme ai miei colleghi ho mostrato a bambini di quattro anni e ad adulti un rilevatore di blicket che opera in mondo insolito perché funziona solo quando mettendoci sopra due blocchetti contemporaneamente. I bambini di quattro anni erano più bravi degli adulti nel cogliere questa struttura causale insolita, mentre gli adulti sembravano affidarsi di più alla conoscenza acquisita che la macchina di solito non funzionava così, benché l'evidenza dimostrasse diversamente nel caso di quella che avevano davanti.

In un'altra recente ricerca abbiamo dimostrato che i bambini che pensano di avere ricevuto istruzioni modificano la loro analisi statistica, e quindi possono diventare meno creativi. Abbiamo mostrato a bambini di quattro anni un giocattolo che suonava eseguendo una certa sequenza di azioni, come tirare una maniglia e poi schiacciare un bulbo di gomma. Con alcuni bambini, la sperimentatrice diceva: «Non so come funziona questo giocattolo, proviamo a capirlo insieme». Poi provava varie sequenze di azioni più lunghe, alcune delle quali finivano con la sequenza corta, facendo suonare la musica, e altre no. Quando infine chiedeva ai bambini di attivare il gioco, molti di loro provavano subito la sequenza corta, quella corretta, escludendo con scaltrezza le azioni probabilmente superflue, e ciò sulla base della statistica di quanto avevano visto.

Con un secondo gruppo di bambini la sperimentatrice diceva che avrebbe insegnato loro come funzionava il giocattolo mostrando sequenze che producevano, o non producevano, musica, e poi interveniva sul giocattolo nello stesso identico modo. Alla richiesta di attivare il giocattolo, i bambini di questo gruppo non provavano mai una

## NATURAL BORN SCIENTIST

A quattro anni i bambini sanno interpretare le informazioni per imparare le relazioni di causa ed effetto. Per esempio capiscono se un primo ingranaggio su una macchina ne fa girare un secondo (*in alto*). Alcuni di loro hanno persino eseguito gli esperimenti corretti – e tratto le giuste conclusioni – giocando liberamente con l'oggetto. Ricerche con un «rivelatore di blicket» (*pagina a fronte*) che si accenderà con maggiore probabilità per alcune combinazioni di blocchi piuttosto che altre, hanno scoperto che i bambini di quattro anni sanno usare la statistica per imparare come funziona la macchina anche quando essa manifesta un comportamento nuovo e inatteso.
In effetti, si sono dimostrati mentalmente più elastici degli adulti quando la macchina funzionava in modo diverso dal solito.

scorciatoia, e imitavano invece l'intera sequenza di azioni. Questi bambini ignoravano la statistica di ciò che avevano visto? Forse no. Il comportamento dei bambini è descritto da un modello bayesiano, in cui ci si aspetta che l'«insegnante» scelga le sequenze più istruttive. In poche parole, se avesse saputo che le sequenze più corte avrebbero funzionato, la donna non avrebbe mostrato le azioni inutili.

## Evoluzione e neurobiologia

Se il cervello è un computer progettato dall'evoluzione, quale giustificazione evolutiva e quale base neurologica hanno queste straordinarie capacità di apprendimento dei bambini? Qui la teoria biologica più attuale si sposa con le osservazioni più recenti dei laboratori di psicologia.

In termini evolutivi, uno degli aspetti più sorprendenti degli esseri umani è il lungo periodo di immaturità: la nostra infanzia dura molto più a lungo di quella di ogni altra specie. Perché lasciare inermi i figli così a lungo, costringendo i genitori a così tanto lavoro per farli sopravvivere?

Nel regno animale, l'intelligenza e la flessibilità degli adulti sono correlate all'immaturità dei piccoli. Specie «precociali» come le galline si affidano a capacità innate specifiche, adattate a uno specifico ambiente, per cui maturano in fretta. Le specie «altriciali» (i cui piccoli devono essere accuditi e nutriti dai genitori) si basano invece sull'apprendimento. I corvi, per esempio, prendono un oggetto nuovo e scoprono come farne uno strumento, ma i loro piccoli dipendono dai genitori più a lungo di quelli delle galline.

La strategia di apprendimento ha molti vantaggi, ma finché non si impara si rimane indifesi. L'evoluzione ha risolto il problema con una divisione del lavoro tra piccoli e adulti. I bimbi sono accuditi per il tempo necessario a conoscere l'ambiente, senza dovere occuparsi di nulla. Crescendo, useranno ciò che hanno imparato per sopravvivere e riprodursi meglio, e prendersi cura della nuova generazione. Fondamentalmente, i bambini sono progettati per imparare.

I neuroscienziati hanno iniziato a capire i meccanismi cerebrali che permettono questo apprendimento. Il cervello dei bambini è più flessibile di quello degli adulti; ha un numero molto maggiore di connessioni tra i neuroni, nessuna delle quali particolarmente efficiente, e con il tempo sfoltirà le connessioni inutili e rinforzerà quelle utili. Inoltre il cervello dei bambini ha un livello elevato di sostanze chimiche che consentono di modificare con facilità le connessioni.

La corteccia prefrontale è specifica dell'uomo, e richiede un tempo molto lungo per maturare. Le capacità dell'adulto di concentrarsi, fare progetti e portare a termine con efficienza un'azione – attività cognitive dirette da quest'area cerebrale – dipendono dal lungo apprendimento nell'infanzia. In genere, i circuiti di quest'area si completano intorno ai vent'anni. L'assenza di un controllo prefrontale nei bambini piccoli potrebbe sembrare un grave handicap, ma in realtà è straordinariamente utile per l'apprendimento. Infatti la corteccia prefrontale inibisce pensieri o azioni irrilevanti, e l'assenza di inibizioni può aiutare i bambini a esplorare liberamente il mondo. È come se ci fosse una compensazione tra la capacità di esplorare in modo creativo e di imparare in modo flessibile, come i bambini, e quella di pianificare e di agire con efficacia, come gli adulti. Le qualità necessarie per agire con efficienza – una rapida elaborazione automatica e una rete cerebrale notevolmente sfoltita – sarebbero in antitesi alle qualità utili per l'apprendimento.

Dalle ricerche dell'ultimo decennio emerge un nuovo quadro dell'infanzia e della natura umana. I bambini sono progettati dall'evoluzione per cambiare, creare, imparare ed esplorare. Queste capacità, così tipiche della natura umana, si manifestano nella forma più pura durante i primi anni di vita. I nostri progressi più importanti sono possibili perché siamo stati bambini indifesi e dipendenti. L'infanzia – e la sua protezione – sono fondamentali per la nostra natura di esseri umani. ■

## Letture


**The Scientist in the Crib: Minds, Brains, and how Children Learn.** Gopnik A., Meltzoff A.N. e Kuhl P.K., William Morrow and Company, 1999.

**Causal Learning: Psychology, Philosophy, and Computation.** Gopnik A. e Schulz L. (*a cura*), Oxford University Press, 2007.

**Il bambino filosofo.** Gopnik A., Bollati Boringhieri, Torino, 2010.

Sito Internet di Alison Gopnik, **alisongopnik.com.**

di Klaus S. Lackner

# Ripulire l'aria dal carbonio

**Macchine che assorbono la $CO_2$ atmosferica possono rallentare l'aumento dei livelli di questo gas serra, riducendo il riscaldamento globale**

Il pianeta non può tollerare ulteriori aumenti della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera. Ma non ci sono segnali di inversioni di tendenza: tutte le stime indicano che la concentrazione della $CO_2$ salirà ancora per decenni. E sebbene vi sia un forte sostegno per lo sviluppo delle energie rinnovabili, probabilmente in futuro le nazioni sviluppate e quelle in via di sviluppo consumeranno ancora più petrolio e gas naturale.

Nel caso dei trasporti, in particolare, le alternative al petrolio sembrano ancora lontane. È difficile immagazzinare energia nei veicoli elettrici: a parità di massa, le batterie immagazzinano meno dell'1 per cento dell'energia contenuta nella benzina. L'idrogeno, d'altra parte, richiede serbatoi ad alta pressione molto pesanti e con volume dieci volte superiore a quello necessario per la benzina. Infine, sebbene siano già stati compiuti voli di prova con aeroplani alimentati con combustibili derivati da biomasse, non è ancora chiaro se i biocombustibili si possano produrre nelle quantità e ai bassi prezzi richiesti dagli aerei di linea. E lo stesso vale per le navi.

Quindi come si potrà impedire che la concentrazione di $CO_2$ superi l'attuale livello di 387 parti per milione? Fino a quando non elimineremo i combustibili derivati dal petrolio, un'opzione praticabile è estrarre $CO_2$ dall'aria. Parte del gas potrebbe essere assorbita incrementando le aree coperte da foreste, ma le attività antropiche producono così tanta anidride carbonica che non disponiamo di terreni per catturarne a sufficienza. Per fortuna i dispositivi di filtraggio – immaginateli come alberi sintetici – sono in grado di catturare molta più $CO_2$ rispetto ad alberi di dimensioni simili.

Diversi gruppi stanno studiando prototipi di queste macchine, tra cui quello del Georgia Institute of Technology, negli Stati Uniti, dell'Uni-

Joe Zeff Design

versità di Calgary, in Canada, del Politecnico di Zurigo, in Svizzera, e quelli di cui faccio parte alla Columbia University e alla Global Research Technologies di Tucson, in Arizona (*si veda il box a p. 105*). Tutti i progetti sono variazioni dello stesso tema: quando l'aria attraversa una struttura, entra in contatto con un materiale sorbente che lega chimicamente la $CO_2$, mentre azoto, ossigeno e altre sostanze tornano in atmosfera.

Per contrastare il cambiamento climatico sarebbe necessaria una cattura a grande scala, ma per ora è importante definire il processo di base. Per decenni sono stati usati dispositivi chiamati *scrubber* per rimuovere la $CO_2$ dall'aria all'interno di sottomarini e di veicoli spaziali, e dall'aria usata per produrre azoto liquido. Per questo «lavaggio» sono disponibili diversi processi chimici, ma le macchine con sorbenti solidi consentono di intrappolare la quantità maggiore di gas per unità di energia richiesta. I primi, piccoli prototipi realizzati suggeriscono che l'ampia diffusione di dispositivi a sorbenti solidi potrebbe arrestare o addirittura ridurre la concentrazione di $CO_2$ in atmosfera.

## Un grande filtro

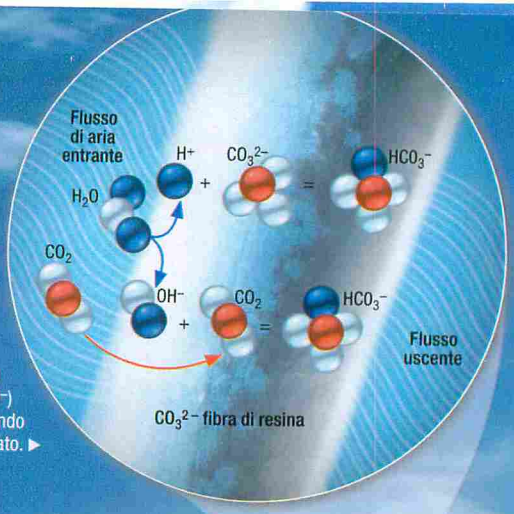
Analogamente alla loro controparte naturale, le macchine che catturano l'aria hanno differenti forme e dimensioni. Ciascuna delle realizzazioni dimostrative, che rappresentano un passo ulteriore di sviluppo rispetto ai prototipi di laboratorio, potrebbe catturare da una tonnellata a centinaia di tonnellate di $CO_2$ al giorno. Il progetto sviluppato dalla Columbia University e dalla Global Research Technologies, ancora su carta, è un esempio di come potrebbe funzionare la tecnologia. Sottili fibre di materiale sorbente sono disposte su ampi pannelli piatti, simili ai filtri delle cappe delle cucine a gas, larghi un metro e alti 2,5. I pannel-

### IN SINTESI

- Macchine con filtri in materiali sorbenti legano la $CO_2$, separandola dall'aria.
- Con una produzione di massa, queste macchine potrebbero catturare $CO_2$ a 30 dollari alla tonnellata, molto meno dei 100 dollari o più necessari per forniture commerciali di $CO_2$.
- Con sorbenti migliori, 10 milioni di macchine ridurrebbero la $CO_2$ di 5 parti per milione all'anno, più dell'incremento globale attuale.

# Una giostra per il carbonio

In un progetto della Global Research Technologies, l'aria attraversa filtri in resina che assorbono la $CO_2$ (*inserto*) e che sono fissati a un nastro in lenta rotazione. Un elevatore sgancia un filtro carico e lo deposita in un container, dove è trasferito a una delle sei camere di rigenerazione che estraggono la $CO_2$ (*sequenza in basso*). Lo stesso elevatore poi riporta i filtri ripuliti sul nastro dove possono asciugarsi e riprendere a catturare $CO_2$.




La cattura si verifica quando l'aria attraversa le fibre coperte di ioni carbonato carichi negativamente ($CO_3^{2-}$), che attraggono gli ioni idrogeno ($H^+$) dalle molecole d'acqua ($H_2O$) residue, formando bicarbonato ($HCO_3^-$). I rimanenti ioni idrossido ($OH^-$) catturano molecole di $CO_2$, formando sempre bicarbonato. ▶

La pulizia del filtro comincia con l'espulsione dell'aria dalla camera (1). Poi si spruzza acqua per dissolvere il bicarbonato sulle fibre, che è convertito in carbonato e $CO_2$ (2). La $CO_2$ è espulsa e compressa fino allo stato liquido, per l'immagazzinamento o l'uso industriale (3). L'acqua è raccolta attraverso uno scarico (4).

li di filtraggio verticali si muovono su un nastro orizzontale circolare montato sopra un *container* standard da 12,2 metri (*si veda l'illustrazione nella pagina a fronte*). Questi pannelli vengono esposti all'aria, e una volta carichi di $CO_2$ si muovono verso il basso, in una camera di rigenerazione all'interno del container. Qui il gas intrappolato è liberato dal sorbente e compresso fino allo stato liquido. Il pannello ripulito è poi rimesso sul nastro per riprendere la separazione del gas dall'aria.

La $CO_2$ estratta si potrebbe usare nell'industria o iniettare nel sottosuolo, come si fa con i sistemi sperimentali di cattura e sequestro del carbonio, pensati soprattutto per impianti a carbone. Come alternativa attraente, però, il gas potrebbe servire da materia prima per combustibili liquidi sintetici per i trasporti. L'elettricità scinde un atomo di ossigeno da una molecola di $CO_2$ e uno dalla molecola di acqua ($H_2O$). La risultante miscela di CO e $H_2$ è nota come gas di sintesi e, ottenuta per altre vie, è stata usata per quasi un secolo come elemento base per la produzione di combustibili e plastica. Per anni la società sudafricana SASOL ha prodotto benzina sintetica e gasolio con gas di sintesi ottenuto dal carbone. La cattura dell'aria potrebbe quindi compensare le emissioni dei veicoli che bruciano combustibili fossili o aiutare a sostituire i combustibili fossili con liquidi sintetici che non richiedono l'estrazione dalle miniere o la trivellazione di carbone, petrolio o gas naturale.

Ovviamente la cattura dell'aria non solo deve funzionare dal punto di vista chimico ma deve anche essere pratica, conveniente dal punto di vista economico ed efficiente dal punto di vista energetico. Per essere pratica, l'apparecchio deve essere compatto. In un giorno, attraverso un'apertura grande come una porta posta a livello del suolo ed esposta a un vento che soffia a sei metri al secondo (un valore normale nei siti in cui si trovano generatori eolici) passano più di 700 chilogrammi di $CO_2$, una quantità equivalente alle emissioni, sempre giornaliere, di 13 persone negli Stati Uniti. I collettori sarebbero compatti anche se non esposti a questi flussi ventosi, che comunque il filtraggio potrebbe rallentare, e anche se l'intrappolamento del 100 per cento del gas è improbabile.

Nella valutazione dei costi si devono considerare due stadi di base: l'assorbimento della $CO_2$ dall'aria e il recupero del carbonio dal sorbente. Sulla base di un confronto con l'eolico, ho concluso che il costo di filtraggio dell'aria con un sorbente può essere piccolo: il costo complessivo del processo è determinato dalla successiva liberazione della $CO_2$ dal sorbente. Tuttavia la cattura dell'aria resta un'alternativa pratica alla cattura diretta dallo scarico dei veicoli, visto che in questo secondo caso occorrerebbe immagazzinare a bordo dei veicoli grandi volumi di $CO_2$ e restituirli a un punto di raccolta (ogni chilogrammo di benzina consumato produce 3 chilogrammi di $CO_2$). Il «lavaggio» dell'aria quindi è un'opzione più praticabile.

## Sorbenti umidi o a secco

Da un punto di vista chimico, un sorbente efficace deve legare la $CO_2$ in modo da assorbirla ma senza trattenerla in modo troppo forte, eventualità che renderebbe troppo costosa la liberazione del gas. La concentrazione di $CO_2$ in aria ambiente è circa dello 0,04 per cento, contro il 10-15 per cento del gas di scarico di un impianto a carbone. Ma la forza richiesta del sorbente varia solo di poco con la concentrazione di $CO_2$. Quindi i sorbenti per la cattura dell'aria possono avere una forza simile a quelli per il lavaggio dei gas di scarico.

I sorbenti sono sia solidi sia liquidi. Quelli liquidi sono vantaggiosi perché si possono trasferire facilmente tra collettore e generatore. Mantenere una buona esposizione della superficie di un liquido con l'ambiente è una sfida ardua, ma conosciamo bene i metodi sviluppati dall'ingegneria chimica per questo compito. Per esempio David Keith, che lavora all'Università di Calgary e a una *start-up* chiamata Carbon Engineering, usa una soluzione di idrossido di sodio che circola su superfici plastiche attraversate da aria soffiata da ventole. Spostare il liquido è semplice, ma il forte legame tra anidride carbonica e idrossido di sodio rende la rimozione dal sorbente relativamente difficile.

Il vantaggio dei sorbenti solidi è che la loro superficie si può rendere ruvida per creare più siti di legame per le molecole di $CO_2$ e aumentare così il tasso di assorbimento. Ma spostare sorbenti solidi da e verso una camera di rigenerazione è più difficile rispetto ai liquidi. Una *partnership* denominata Global Thermostat, basata sul lavoro del Georgia Institute of Technology, studia sorbenti solidi che sono riscaldati per rilasciare la $CO_2$ catturata.

I sorbenti solidi e liquidi si basano sulle reazioni acido-base. L'anidride carbonica è un acido, mentre la maggior dei sorbenti è una base: la reazione tra acido e base produce un sale. Per esempio l'idrossido di sodio, cioè la soda caustica, è un potente sorbente che lega l'anidride carbonica producendo carbonato di sodio. Quest'ultimo è ancora basico, e può assorbire altra anidride carbonica, formando bicarbonato di sodio, che a sua volta è una base. Con gli altri sorbenti avvengono reazioni simili.

In linea di principio si può rimuovere la $CO_2$ dal bicarbonato e riportare il sorbente allo stato di idrossido, in modo da riciclarlo. Ma in pratica i

## UN PROGETTO GLOBALE

**Una prospettiva di rallentamento del riscaldamento globale dovrebbe prevedere i seguenti punti:**

**10 MILIONI**
di macchine per la cattura di aria in tutto il mondo

**10 TONNELLATE**
di $CO_2$ *al giorno* separate dall'aria da ciascuna macchina, dopo aver tenuto conto delle emissioni collegate all'energia consumata dalle macchine

**36 GIGATONNELLATE**
all'anno di $CO_2$ catturate complessivamente

**5 PARTI PER MILIONE**
sottratte ogni anno alla concentrazione atmosferica di $CO_2$, ora a 389 parti per milione e in crescita


**L'AUTORE**

KLAUS S. LACKNER, professore di geofisica, dirige il Dipartimento di ingegneria terrestre e ambientale della Columbia University, dove è anche membro dell'Earth Institute. Lackner è cofondatore di Global Research Technologies, società fondata da Gary Comer, già proprietario di Lands' End, per dimostrare la fattibilità della tecnologia di cattura atmosferica.

Kevin Hand (*illustrazioni*; cortesia Columbia University (*Lackner*)

## VENDERE $CO_2$

**L'anidride carbonica estratta dall'aria potrebbe essere immagazzinata nel sottosuolo o venduta come materia prima per uso industriale.**

### APPLICAZIONI ATTUALI

- Agente pressurizzante per il recupero assistito di greggio (*enhanced oil recovery*)
- Ingrediente per la carbonazione delle bevande gassate
- Agente per la surgelazione delle ali di pollo

### APPLICAZIONI FUTURE

- Materia prima per la benzina sintetica
- Nutriente per coltivazioni di alghe che producono biocarburanti
- Materia prima per produrre cemento basato su carbonato

RECUPERO DI GREGGIO

metodi di rigenerazione sembrano funzionare bene solo per la prima parte del processo: o rimuovono anidride carbonica dal bicarbonato, formando carbonato, oppure rimuovono anidride carbonica dal carbonato, producendo idrossido. Il ciclo tra bicarbonato e carbonato è preferibile, visto che è richiesta meno energia per liberare $CO_2$ una volta che si è legata al sorbente.

Diverse classi di sorbenti innovativi passano dallo stato di carbonato a quello di bicarbonato, tra cui le cosiddette resine a scambio anionico. Questi polimeri carbonati simili alla plastica sono impiegati in un'ampia gamma di processi chimici, tra cui la preparazione dell'acqua deionizzata. Nella resina gli ioni positivi sono fissi, mentre gli ioni negativi sono mobili. Un insieme di ioni negativi può essere scambiato per un altro lavando la resina in una soluzione che offre ioni negativi diversi.

Una di queste resine è stata realizzata da Global Research Technologies. Filtri in resina a secco esposti al vento catturano $CO_2$ fino a quando la resina raggiunge lo stato di bicarbonato. Inumidendo la resina si rilascia l'anidride catturata, e la resina torna allo stato di carbonato. Una volta persa l'umidità, la resina ricomincia ad adsorbire $CO_2$.

Nel sistema che abbiamo progettato, un filtro carico di $CO_2$ entra in una camera di rigenerazione nel container, dove è estratta aria e immessa acqua, eventualmente come vapore saturo. La resina inumidita rilascia $CO_2$, che è pompata all'esterno e compressa fino allo stato liquido. Questa compressione induce anche la condensazione di ogni eventuale residuo di vapore d'acqua, che si può riciclare. Il filtro purificato torna nella camera di rigenerazione per asciugarsi e riprendere l'assorbimento di $CO_2$ sul tetto del container.

Il consumo di energia di queste macchine è determinato in gran parte da due fasi: la prima è il pompaggio dell'aria all'esterno dalla camera di rigenerazione; la seconda, che richiede molta più energia, è la compressione dell'anidride carbonica da alcune frazioni di atmosfera alla pressione richiesta per liquefarla: decine di atmosfere, in funzione della temperatura. Il processo complessivo per estrarre un chilogrammo di $CO_2$ con il nostro dispositivo richiede 1 megajoule di elettricità. Per confronto, facendo una media su tutte le centrali elettriche degli Stati Uniti, la generazione della stessa quantità di energia produce 0,21 chilogrammi di anidride carbonica. A conti fatti, dunque, il processo di cattura atmosferico elimina molta più anidride carbonica di quella produce.

Un costo realistico per l'energia richiesta è circa 15 dollari per tonnellata di anidride carbonica catturata, non molto di più rispetto al costo del lavaggio dai gas di scarico. Al momento, però, la maggior parte della spesa per installare le unità riguarderebbe produzione e manutenzione, anche se ci aspettiamo una diminuzione dei costi con l'aumento della produzione. Mi aspetto costi iniziali di circa 200 dollari per tonnellata di carbonio, e prezzi in rapida discesa grazie alla costruzione di un numero sempre più grande di collettori.

### Riciclare o immagazzinare

Oltre al sequestro, che cosa si può fare con la $CO_2$ catturata? Ci sono diverse opzioni. Molte industrie, tra cui quelle delle bibite gassate, delle ali di pollo surgelate e del ghiaccio secco, fanno uso di anidride carbonica. Questo gas è usato anche per stimolare la crescita delle colture in serra, come solvente non inquinante o come refrigerante. Attualmente ci sono pochi produttori industriali, perciò il prezzo è guidato soprattutto dai costi di trasporto. Negli Stati Uniti la $CO_2$ è venduta a oltre 100 dollari alla tonnellata, ma in zone remote del paese il prezzo può raddoppiare o triplicare. Ogni anno nel mercato globale si scambiano 30 milioni di tonnellate di $CO_2$, che si potrebbero in parte produrre con metodi di cattura atmosferica.

I mercati di nicchia, come quello della preparazione alimentare, fornirebbero un'ulteriore op-

COLTIVAZIONE DI ALGHE

CEMENTO

portunità. Quando prenderà piede la tecnologia di cattura atmosferica i prezzi dovrebbero calare, incrementando le dimensioni del mercato. Una volta che il prezzo di una tonnellata di $CO_2$ catturata scenderà sotto i 100 dollari, l'estrazione potrebbe valere anche come credito di carbonio, secondo le quotazioni del Carbon Exchange di Londra.

I mercati emergenti potrebbero accelerare la maturazione di questa tecnologia. Già dagli anni settanta le compagnie petrolifere acquistano $CO_2$ per il recupero assistito del greggio: il gas è pompato nel sottosuolo per estrarre più petrolio o gas da giacimenti in via di esaurimento. Se la $CO_2$ provenisse dalla cattura atmosferica, le compagnie potrebbero vantare un credito per il carbonio rimasto nel sottosuolo, in genere pari alla metà di quello pompato. Queste tecnologie hanno grande mercato, ma molti campi petroliferi sono lontani da sorgenti di $CO_2$. Installare unità di cattura atmosferica in prossimità di un campo potrebbe cambiare le cose.

Con l'avvento delle fonti di energia pulita, tuttavia, il prezzo della cattura sarebbe la produzione di nuovo combustibile liquido usando $CO_2$ come materia prima. Come già detto, tecnologie quali elettrolisi e reazione RWGS (*reverse water-gas shift*) generano gas di sintesi da $CO_2$ e acqua, portando alla produzione di combustibile. Il costo maggiore, in questo caso, è l'elettricità necessaria al processo.

Fino a quando la sintesi dei combustibili non sarà affidabile, dovremo liberarci di tutte le emissioni che produce. Per lo stoccaggio di $CO_2$ emessa da centrali elettriche sono allo studio alcune tecnologie quali lo stoccaggio geologico e quello minerale. La cattura atmosferica può funzionare con gli stessi approcci di stoccaggio, e le macchine potrebbero essere installate negli stessi siti.

## Raffreddamento globale

Fino a quando le tecnologie di trasporto pulite non saranno più efficienti, la separazione dell'anidride carbonica dall'aria permetterebbe ad automobili, aerei e navi di continuare a bruciare combustibili liquidi, grazie alla cattura remota da parte di collettori d'aria, ed è proprio il caso di dire «remota». A differenza dell'ozono e del biossido di zolfo, la $CO_2$ rimane in atmosfera per decenni o addirittura secoli, e viaggia parecchio. L'atmosfera si rimescola in modo tanto esteso e profondo che avrebbe senso catturare la $CO_2$ in Australia e vantare crediti contro le emissioni in Nord America. Si potrebbe rimuovere una quantità equivalente del gas anche prima che si verifichino le emissioni; si potrebbe produrre un'auto «a emissioni zero» catturando, prima che esca dalla catena di montaggio, le 100 tonnellate di anidride carbonica che si stima emetta nell'arco della sua vita.

La cattura atmosferica potrebbe essere anche un metodo più economico rispetto alla cattura dai siti delle centrali elettriche, specialmente per quelle più vecchie, che non si possono dotare facilmente di dispositivi con cui si lavano i gas di scarico, o per quelle lontane dai siti di stoccaggio. E in un mondo futuro in cui le concentrazioni atmosferiche di $CO_2$ fossero già stabilizzate, la cattura potrebbe addirittura ridurre i livelli di questo gas serra, recuperando le emissioni del passato.

Oltre ai costi, è stato sottolineato che un gran numero di macchine per la cattura atmosferica consumerebbe enormi quantità di energia, e che i filtri sono realizzati in materiali plastici derivati dal petrolio. Ancora più arduo è l'ostacolo delle diverse tonnellate di acqua che evaporano in atmosfera durante la fase di asciugatura dei filtri. Ma se la cattura atmosferica fosse adottata su larga scala contrasterebbe il cambiamento climatico. Ciascuna unità raccoglierebbe una tonnellata al giorno. Dieci milioni di unità raccoglierebbero 3,6 miliardi di tonnellate all'anno, riducendo i livelli atmosferici di 0,5 parti per milione all'anno. Se nel tempo le unità riuscissero a gestire 10 tonnellate al giorno, la riduzione di $CO_2$ sarebbe di 5 parti per milione all'anno, maggiore del tasso di incremento globale attuale. Se 10 milioni di unità sembrano un numero enorme, si consideri che ogni anno nel mondo si producono 71 milioni di automobili e veicoli da trasporto leggero.

All'inizio, il costo della cattura di $CO_2$ sarebbe elevato: circa 200 dollari per tonnellata. Ma se la tecnologia seguisse le curve standard di apprendimento e produzione arriveremmo a costi governati da materiali ed energia, il che porterebbe il costo a circa 30 dollari per tonnellata. A quel punto, il sovrapprezzo della benzina dovuto alla cattura di $CO_2$ sarebbe di circa 6,6 centesimi di dollaro al litro (circa 5 centesimi di euro), una somma che vale la pena sborsare. ■

## PROCESSI IN COMPETIZIONE

**Vari istituti e società private stanno studiando sorbenti asciutti e umidi che potrebbero portare a macchine commerciali per la cattura di aria:**

### SORBENTI ASCIUTTI

**Columbia University e Global Research Technologies:** polimero carbonato

**Georgia Institute of Technology e Global Thermostat:** polimero carbonato

### SORBENTI UMIDI:

**Brookhaven National Laboratory:** soluzione di idrossido

**Università di Calgary e Carbon Engineering:** soluzione di idrossido

**Xerox PARC:** soluzione di idrossido

**Politecnico di Zurigo:** soluzione di idrossido, calce

**Paul Scherrer Institut:** soluzione di idrossido, calce

## Letture


**Climate Strategy with $CO_2$ Capture from the Air.** Keith D.W. e altri., in «Climatic Change», Vol. 74, pp. 17-45, gennaio 2006.

**Fixing Climate: What Past Climate Changes Reveal about the Current Threat–and How to Counter It.** Broecker W.S. e Kunzig R., Hill and Wang, 2008.

**Capture of Carbon Dioxide from Ambient Air.** Lackner K.S., in «European Physical Journal: Special Topics», Vol. 176, n. 1, pp. 93-106, settembre 2009.


## Non chiamatela geoingegneria

Alcune persone hanno catalogato l'estrazione di anidride carbonica dall'aria come una tecnica di geoingegneria, ma l'autore dell'articolo non è d'accordo. Il processo che ha illustrato non cambia la dinamica naturale della Terra e non crea un potenziale rischio ambientale, come accade invece per i progetti di geoingegneria, tra cui, per esempio, l'immissione di aerosol nella parte alta dell'atmosfera per assorbire la luce solare, che altera la chimica della stessa atmosfera e il bilancio della radiazione a livello globale. Un altro progetto prevede di ricoprire la superficie degli oceani con particelle di ferro per accelerare la crescita delle alghe che assorbono $CO_2$, modificando però la chimica e la biologia degli stessi oceani. La cattura di anidride carbonica atmosferica semplicemente contrasta l'eccesso di questo gas serra dovuto alle attività umane.


Bloomberg/Getty Images (*giacimento di petrolio*); cortesia Jim Dematlia (*coltivazione di alghe*); Wave/Corbis (*cemento*)

# Tra Menfi e Alessandria (o quasi)

Mischiare un mazzo di carte è un'arte in cui la matematica può essere utile, soprattutto se si vuole provare una mischiata dal nome faraonico e fuorviante

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

"Meglio che ti sbrighi a far sparire tutto, Rudy. Hai creato disordine per tutta la stanza, e lo hai fatto usando cose che puzzano lontano un miglio di calcolo delle probabilità. Metti insieme le due cose, disordine e probabilità, e quello che ottieni è un'Alice furibonda».

In effetti, il tavolo è ricoperto da mazzi di carte delle fogge e taglie più svariate: enormi mazzi che avrebbero permesso di giocare a canasta a un numero imprecisato di persone; smilzi mazzetti da poker; mazzi regionali delle più diverse fogge e dimensioni; tutti trapassati dallo sguardo infuriato di Rudy che pare avere qualcosa da ridire a una riproduzione del Cavaliere di Denari dei *Tarocchi* del Mantegna, mentre il suo collega appartenente ai *Tarot de Marseille*, data la taglia inferiore, riesce a nascondersi in un mazzo che palesemente non è il proprio.

«Doc, normalmente attribuisco alle tue provocazioni lo stesso peso del fumo della mia pipa, ma hai scelto il momento sbagliato: non funziona, e quando le cose non funzionano io mi arrabbio».

«Beh, è normale che ogni tanto un solitario non riesca; sai che noia, venissero sempre tutti? Prova a fare un'altra partita, potresti avere più fortuna». Piotr solleva un sopracciglio complice: «Oppure fai come me: bara».

«Sei completamente fuori strada: questo non è un solitario, e io non sto giocando. Ti pare il campo di battaglia di un solitario, questo? Con buona pace di Napoleone...».

Per puro spirito di provocazione, Doc comincia a organizzare senza dare nell'occhio un «gioco delle tre carte» sul tavolino, ignorando a bella posta Rudy che si è appena messo alla ricerca, sul pavimento, delle carte mancanti del suo mazzo prediletto. Si trovano in questa posizione non esattamente edificante, quando entra Treccia. Come previsto, il passaggio di stato da «Alice placida» ad «Alice furibonda» è praticamente istantaneo.

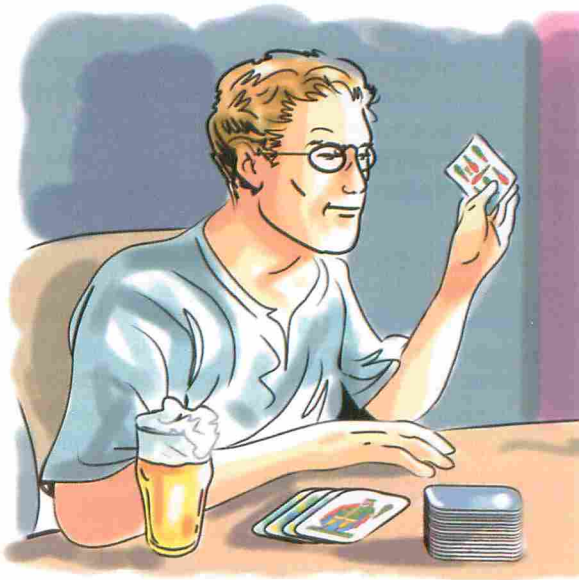
«Ma insomma! Oppongo un reciso e triplice rifiuto a una scena del genere: Doc che si allena a una truffa, Rudy che razzola come una gallina e la casa piena di mazzi di carte! Avete 12 minuti per mettere in ordine, se non volete scoprire sulla vostra pelle un uso improprio di quel mappamondo».

«Suvvia, usa la tua triplice pazienza, piuttosto: se ti garantisco che non è un problema di probabilità e prometto che dopo metteremo ordine, mi lasci spiegare?».

«Come se avessi scelta... So che quando Doc maneggia tre carte il calcolo delle probabilità non ha ragione di esistere, ma tu? Che stai combinando?».

«... Cartavince, cartaperde, cartavince... Quale carta vince?».

«Aspetta un secondo Treccia: quando comincia così, non la smette più». Poi, rivolto a Piotr: «Vince l'asso che sta qui a destra, Doc: sono vent'anni che mi fai il gioco, ormai ho imparato. Per punizione, guarda queste: sono dieci carte, dall'asso al dieci. Giro la prima ed è un asso: la seconda non la guardo e la metto sotto l'ultima del mazzetto; giro la terza ed è un due, la quarta non la guardo e la metto sotto...».



Rudy continua ad alternare carte esibite e rimesse sotto, ottenendo con le carte visibili la sequenza completa, dall'asso al dieci, sino all'esaurimento del mazzo.

«Ecco, ricostruisci la struttura del mazzo iniziale che serve per ottenere questo effetto. Alice, sono da te, adesso».

«Niente probabilità?».

«No, lo giuro. Sai cos'è un Miscuglio Faro?».

«Una schifezza luminosa?».

«Spiritosa. Miscuglio, mischiata; Faro, o Fara-

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di ottobre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Illustrazione di Stefano Fabbri

## Il problema di agosto: le coppie tra gemelli

Dette $N$ le coppie di gemelli del mese scorso, la differenza tra le due estrazioni è che nel primo caso abbiamo 1 probabilità su $N$ di estrarre un nome che costringa tutti a rimettere i biglietti nell'urna, mentre nel secondo caso abbiamo 2 probabilità su $N$. Quindi nella prima estrazione la probabilità che nessuno estragga il proprio nome è:

$$\left(1-\frac{1}{N}\right)^N$$

Anziché calcolare con il vero $N$, è più divertente calcolare il limite per $N\to\infty$: vale $1/e$, e siccome il valore atteso è l'inverso della probabilità, ci aspettiamo di dover fare circa 3 estrazioni prima di poter assegnare i tavoli. Nella seconda estrazione, invece, la probabilità è:

$$\left(1-\frac{2}{N}\right)^N$$

In questo caso il limite vale $1/e^2$, e il valore atteso è quindi di 8 estrazioni.

one. Guarda: questo è un mazzo nuovo da 52; le carte sono in ordine, dall'asso al re, con i quattro semi nell'ordine: cuori, quadri, fiori, picche; immagina di numerare le carte, con l'asso di cuori come 1 e il re di picche come 52; tagliamo il mazzo esattamente a metà...».

«Ossia tra il re di quadri, carta 26, e l'asso di fiori, carta 27...».

«Esatto. Ora facciamo la Mischiata Faro perfetta: alterniamo i due mazzetti come fanno i professionisti, con la carta 1 che tocca per prima il tavolo, seguita dalla carta 27, e poi la 2, la 28, eccetera...».

«Oh! Ho capito di cosa stai parlando. E sì che la conoscevo perfino in inglese, *Faro Shuffle*, ma credevo che prendesse il nome dal vecchio gioco del Faro. Che c'entrano i faraoni?».

«Beh, anche il gioco in italiano si chiama sia Faro che Faraone; e in inglese la confusione è anche peggiore, vista la quasi perfetta assonanza tra le parole *faro* e *pharaoh*. Comunque, i Faraoni stavano a Menfi, il Faro ad Alessandria: sempre Antico Egitto, no? Adesso prendi il mazzo tu, e fai un'altra Mischiata Faro perfetta».

«Ma io non so farla! Non è mica una cosa che si fa al primo colpo!».

«Ah, dillo a me... È una settimana che ci provo, senza successo. Capito adesso perché ci sono tutte queste carte in giro? Comunque, mi chiedevo quante mischiate Faro perfette servono per ottenere di nuovo l'ordine iniziale».

«GC, ogni tanto mi stupisci... Tu, il teorico perfetto, che provi a fare le mischiate sul campo, invece di lavorare un pochino con carta e matita?».

«Certo che l'ho fatto, e mi sono arrabbiato anche così. Sai quanto sono affezionato alla funzione Toziente di Eulero, e speravo che... Invece no, con certi mazzi è una soluzione sub-ottimale!».

Ancora concentrato sulle sue dieci carte da ordinare, Piotr interviene timidamente: «Beh, spesso queste mischiate cicliche richiedono un ciclo completo... Così magari, dopo 52 Faro perfette, il mazzo torna...».

«... Torna a essere buono per tirartelo in testa, Doc. La Toziente mi dà certo una valore migliore di 52, che non è neppure una soluzione: ma la risposta ottimale è ancora minore».

«Vabbè, se è minore di 52, puoi sempre provarci per tentativi...».

«Già, proprio come te, che ancora impazzisci nel tentativo di ordinare dieci misere carte».

«Non sgridarlo troppo, Capo», interviene Alice. «Tanto lo sai, che Doc con le carte si diverte solo se può barare...» .

«Già – riconosce Piotr – ma fa ancora troppo caldo, e con le maniche corte è davvero difficile...».

# Segni di una cultura scomparsa

## LE CATTEDRALI DELLA PREISTORIA. Il significato dell'arte rupestre

di Amir D. Aczel

Raffaello Cortina, Milano, 2010, pp. 224 (euro 21,00).

di Mauro Capocci

I graffiti che costituiscono l'insieme dell'arte rupestre, tracciati tra 30.000 e 10.000 anni fa, sono diffusi soprattutto nelle caverne di Francia e Spagna, con qualche esempio anche nell'Italia meridionale. Immagini di animali, ma anche simboli astratti e figure umane, tracciati e dipinti in luoghi spesso difficilissimi da raggiungere, magari alla fine di tunnel di roccia quasi inaccessibili.

Prendiamo le grotte di Altamira, nel nord della Spagna. È un complesso di caverne e passaggi a quasi 300 metri di profondità, abitato in due distinti periodi tra 18.500 e 14.000 anni fa: molti corridoi e anfratti hanno qualche raffigurazione, ma ciò che lascia stupiti è il soffitto dell'ultima sala, la più grande. È il cosiddetto «soffitto dei bisonti», che raffigura una mandria di questi animali, oltre a un cervo, un bue e dei cinghiali: per la bellezza e la peculiare posizione sulla volta, è stato definito la Cappella Sistina dell'arte preistorica.

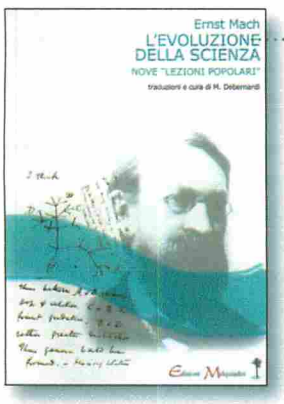
La grotta di Altamira e l'arte rupestre in generale sono frutto delle popolazioni di antichi *Homo sapiens*, i Cro Magnon. Emigrati dall'Africa circa 150.000 anni fa, Questi nostri progenitori sono stati i primi a lasciare tracce inequivocabili di pensiero simbolico, cioè la capacità di astrarre immagini dalla realtà per riprodurle sotto altra forma: catturare la forma di un bisonte (o di un pene) e disegnarla nella grotta. Questa abilità è probabilmente ciò che distingueva *Homo sapiens* dalle altre specie di ominidi con cui ha condiviso il territorio, in particolare con *Homo neanderthalensis*. I neanderthaliani, seppure ci siano ipotesi sulla loro capacità di usare un linguaggio simbolico, non hanno lasciato indizi risolutivi. Esplorando questo complesso mondo di grotte e graffiti, Amir Aczel si interroga però sul grande enigma dell'arte rupestre, riassumibile in una sola parola: perché?

Tante interpretazioni sono state proposte sin dalla scoperta dell'arte rupestre, senza però mai essere del tutto convincenti. Il libro ripercorre le più importanti ipotesi avanzate, legandole a diversi aspetti culturali delle società umane, tra cui le pratiche di caccia e alcuni miti persistenti, e analizzando anche altri casi in qualche modo correlati: gli sciamani contemporanei delle popolazioni inuit delle tundre artiche, per esempio, o le grandi pietre di Stonehenge.

Tuttavia la chiave per il mistero dell'arte rupestre arriva dal pensiero dell'archeologo francese André Leroi-Gouhran, il quale nella seconda metà del Novecento ha proposto un'interpretazione interna alla cultura stessa delle popolazioni che lasciarono queste immagini. Invece di considerarle un preludio allo sviluppo di *Homo sapiens*, questa nuova prospettiva considerava quelle forme d'arte in un processo di sviluppo – probabilmente religioso – segnato da una sempre maggiore astrazione, finché la cultura dei Cro Magnon non scomparve completamente, venendo dimenticata.

I simboli sono quindi da interpretare all'interno di una visione del mondo organica, e ruotano, secondo Leroi-Gourhan, attorno alla coppia maschile/femminile, rappresentata rispettivamente dal cavallo e dal bisonte (o da un uro). L'organizzazione stessa dei simboli nelle grotte suggerisce che queste fossero luoghi di culto: le pitture più semplici (prima maschili, poi femminili) sono infatti disseminate lungo i cunicoli d'accesso secondo un ordine comune a quasi tutte le caverne, e culminano in una sorta di luogo centrale (il «santuario») dove si trovano le opere più complesse, non più organizzate in modo lineare ma secondo una gerarchia che sembra indicare una cultura complessa. Antieconomiche (perché dispendiose in termini di tempo e di energia), le caverne ornate di pitture rupestri dovevano quindi essere molto importanti per le popolazioni che le usarono, analoghe alle nostre cattedrali, che sono comprensibili solo all'interno della cultura religiosa cui appartengono.

Ben scritto e necessariamente molto illustrato, il libro di Aczel non si ferma al lato estetico, ma accompagna il lettore in una visita guidata nell'evoluzione umana, culturale e biologica, interessante e meravigliosa, che restituisce tutto il fascino dell'arte rupestre.




## L'EVOLUZIONE DELLA SCIENZA. Nove «lezioni popolari»

**di Ernst Mach**

Edizioni Melquíades, Milano, 2010, pp. 272 (euro 20,00).

Ernst Mach, uno dei pensatori più influenti della fine del Novecento, verso cui si sentivano in debito Einstein e Musil, non aveva ancora, in Italia, una ricostruzione completa della sua figura, se si escludono alcuni lavori settoriali o molto datati. È quindi di fondamentale importanza la pubblicazione di questo testo, presentato da Telmo Pievani e preceduto da un ampio saggio di Massimo Debernardi.

Fisico di formazione, Mach ottenne i primi successi nel campo della ricerca sperimentale – con il famoso «numero di Mach» – e continuò ad accrescere la propria fama con importanti contributi di storia e di filosofia della scienza, ottenendo a Vienna la prima cattedra europea di storia e teoria delle scienze induttive.

Uno dei tratti distintivi della personalità di Mach fu la sua attività didattica e divulgativa: «gli scritti divulgativi di Mach sono eccezionali capolavori della prosa scientifica tedesca e risultano piacevoli e leggibili ancora oggi» precisa Debernardi. Le «lezioni popolari», rivolte alle classi lavoratrici, trattavano temi di grande portata e profondità in un linguaggio accessibile a tutti, e ottennero un tale successo a Vienna e in provincia da raggiungere addirittura, in alcuni paesi, i due terzi della popolazione.

Le nove lezioni pubblicate, sulle 33 esistenti, espongono i punti salienti della teoria della conoscenza di Mach, che considerava l'attività scientifica un «processo di adattamento delle idee ai fatti», in chiave darwiniana. La conoscenza è manifestazione della natura organica, si basa sull'abitudine più che sui concetti *a priori*: il principio di causa-effetto, come i concetti di *massa*, *tempo* e *io*, sono tendenze mentali utili per la sopravvivenza della specie, che è parte di un unico «organismo globale».

**Francesca E. Magni**

# Festival della Mente: appuntamento a Sarzana

È stato il primo festival europeo dedicato «alla creatività e ai processi creativi», come ricordano orgogliosi i suoi organizzatori; non, quindi, a una singola disciplina o a un singolo tipo di pensiero, ma alla «cosa» da cui hanno origine tutte le discipline e tutti i pensieri. Quella «cosa» un po' misteriosa, e certamente unica, che ci distingue dal resto del mondo: la mente umana. Della cui natura, caratteristiche ed espressioni si parlerà anche quest'anno a Sarzana, in provincia di La Spezia, in occasione della settima edizione del Festival della Mente, che torna proponendo un programma di oltre 60 eventi dislocati in varie sedi nel centro storico della cittadina ligure.

Conferenze, letture, spettacoli teatrali e musicali – e l'immancabile sezione di laboratori indirizzata ai giovanissimi – si avvicenderanno per tre giorni proponendo temi quali *L'anima e l'iPad* (e se la famosa tavoletta della Apple fosse una grande metafora dell'anima, si chiede il filosofo Maurizio Ferraris?), il ruolo della poesia in un mondo devastato da guerre pubbliche e private (ne discuterà Valerio Magrelli), *Creatività e stupidità* (somiglianze e differenze saranno esaminate dallo psicologo cognitivo Paolo Legrenzi) e le avanguardie artistiche dal Novecento a oggi (*I portatori del tempo*, Achille Bonito Oliva). O, ancora, la mente umana secondo Freud e l'Italia secondo Cavour, l'identità tra arte e scienza e la relazione tra mito e follia, e poi le lezioni a numero chiuso della sezione speciale «ApprofonditaMente», i tre incontri in tarda serata con Edoardo Boncinelli, il concerto «autobiografico» degli AvionTravel, il racconto-spettacolo di Vincenzo Cerami e così via. Con un impegno comune: «raccontare in un intervento nuovo e originale, non solo il cosa, ma soprattutto il come e il perché».

Idea centrale della manifestazione, che in sei anni ha coinvolto circa 250 relatori, è fare da «crocevia tra pensiero umanistico e pensiero scientifico» intorno al tema della creatività. Un'idea che due anni fa si è addirittura trasferita dalle vie di Sarzana alla carta, in una collana, diretta da Giulia Cogoli e realizzata in collaborazione con Laterza, che propone brevi saggi sui temi affrontati durante le varie edizioni del festival. (*cdg*)

## LA BATTAGLIA DELLE FARFALLE

**di Peter Laufer**

Sironi editore, 2010, pp. 268 (euro 19,00).

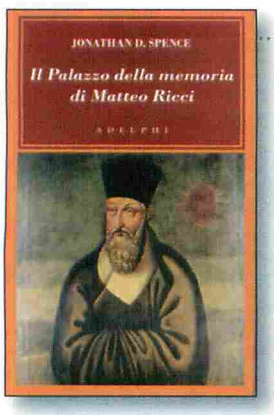
«A cosa servono le farfalle? A meno di quanto si creda». Con un'introduzione così, è chiaro che non abbiamo in mano il classico saggio di divulgazione scientifica. E infatti Peter Laufer non è il classico divulgatore, ma un reporter, abituato a spendersi in inchieste scottanti, che ha deciso di occuparsi di farfalle un po' per caso un po' per sfida, ritagliandosi una parentesi tra incarichi più pericolosi. E ha finito per farsi conquistare da questi insetti bellissimi e apparentemente fragili – meno di quanto sembri, come si scopre leggendo – e dalle loro storie.

Saranno anche «scarafaggi dai colori carini», come le definisce uno degli entomologi intervistati, ma le farfalle hanno un posto speciale nel nostro immaginario, fin da tempi remoti, se in greco antico *psiche* significa sia anima sia farfalla. Peccato che oggi tanta poesia si traduca in interessi economici precisi. Le farfalle saranno anche inutili, ma possono valere molto: come sa chi le cattura per fare affari con i collezionisti e chi le alleva vendendole poi a chi vuole allietare una cerimonia con un volo di farfalle. Per non parlare di chi le mangia – in alcuni paesi sono una ghiottoneria – o di artisti come Damien Hirst, i cui collage di farfalle hanno provocato non poche polemiche.

Il guaio con le farfalle, osserva Laufer, è che spesso «amarle» vuol dire sopprimerle per conservarle, strappar loro le ali o refrigerarle per poi liberarle senza troppe preoccupazioni per il loro futuro. Si spiega così lo scontro tra allevatori e conservazionisti, che le farfalle si limitano a fotografarle, e polemizzano con chi definisce «esemplari» quelli che per loro sono individui.

Forse il pericolo vero per le farfalle non viene dai pur accaniti collezionisti – neppure da quelli che catturano specie rare e protette – ma dall'inquinamento e dalla distruzione dei loro habitat. Resta il fatto che sono un indicatore prezioso di biodiversità. E c'è da chiedersi a quante delle circa 18.000 specie censite possiamo rinunciare prima di compromettere definitivamente quella che l'ambientalista Jana Johnson definisce «l'astronave terra»: «Ogni specie è un chiodo», ricorda Johnson. «Quanti chiodi si possono togliere prima che l'astronave collassi?».

**Paola Emilia Cicerone**




## IL PALAZZO DELLA MEMORIA DI MATTEO RICCI

**di Jonathan D. Spence**

Adelphi, Milano 2010, pp. 384 (euro 28,00)

Nella ricorrenza dei 400 anni dalla morte di Matteo Ricci, Adelphi ripropone il fondamentale testo del 1984 dello storico britannico Jonathan D. Spence sulla vita e le opere del missionario gesuita, che si servì della mnemotecnica evocata nel titolo, attingendo alle rielaborazioni sviluppate nei secoli della tecnica originariamente inventata da Simonide, per accreditarsi presso le classi più colte del Celeste Impero. Una scelta, da parte di Ricci, tutt'altro che casuale, dato il ruolo di primo piano dell'arte della memoria nella cultura europea del XVI secolo, che la rendeva particolarmente adatta a convincere gli studiosi cinesi della qualità delle conoscenze dei «barbari» occidentali. Così come non è un caso che Spence, forse la maggiore autorità odierna sulla storia e la cultura cinesi, da sempre interessato al dialogo tra queste e l'Occidente, si sia concentrato su Ricci: che di quel dialogo fu uno dei primi protagonisti, e dedicò la sua vita a esplorarne problematiche e opportunità.

Uomo di grande cultura, rappresentante dell'enciclopedismo tipico della sua epoca, oltre che di profonda religiosità, Matteo Ricci diede anche prova di estrema pazienza, riuscendo infine a conquistare la fiducia dell'Imperatore – fu il primo occidentale a ottenere il permesso di entrare nella Città Proibita di Pechino – e a convertire alcuni membri della corte imperiale.

Anziché confinare le tante sfaccettature della sua figura in una biografia tradizionale, Spence riprende la struttura del Palazzo che Ricci propose agli studiosi cinesi per insegnare la mnemotecnica, articolando il racconto intorno agli ideogrammi e ai disegni di carattere religioso individuati dal gesuita per comunicare con i suoi interlocutori. Ne risulta un libro di enorme fascino, storicamente densissimo, che più che un Palazzo ricorda una gigantesca tappezzeria (o, meglio, un grande dipinto cinese) in cui una serie di scene e di ambienti – la Cina, anzitutto, ma anche l'Italia tumultuosa dell'infanzia e della giovinezza di Ricci – convivono armoniosamente, ciascuna ricchissima di personaggi e di particolari. Un tour de force di erudizione, che richiede al lettore concentrazione e disponibilità: ripagandole, tuttavia, con un piacere intellettuale non comune.

**Claudia Di Giorgio**

# Due settimane per parlare di scienza

PASSIONE E DIVERTIMENTO. Alcune immagini della scorsa edizione di BergamoScienza, evento pensato sia per gli adulti sia per i più piccoli, anche grazie a laboratori interattivi in cui giocare con la scienza.

Cortesia BergamoScienza (*tutte le immagini*)

Conferenze di grandi scienziati e premi Nobel, tavole rotonde, cacce al tesoro e laboratori interattivi, spettacoli e mostre: c'è un po' di tutto, come consuetudine, nel programma di BergamoScienza, la manifestazione giunta alla sua ottava edizione che si terrà tra il 1° e il 17 ottobre prossimi.

Quanto mai ricca la gamma degli argomenti trattati. Si comincia con una tavola rotonda su una questione fondamentale per il futuro del nostro paese e per le scelte dei giovani che scelgono di intraprendere la carriera scientifica: «Fare ricerca all'estero e fare ricerca in Italia», e si prosegue con una serie di incontri con chi la scienza la pratica ogni giorno, intitolata «Conversare con i giovani ricercatori».

Per le scienze dure, gli appuntamenti da non perdere saranno le relazioni di Martin Chalfie, premio Nobel per la chimica nel 2008 e padre della tecnica di trasferimento delle proteine fluorescenti come *marker* biologici (conferenza *Green fluorescent protein: accendiamo la vita*») e quella del ricercatore del CERN di Ginevra Guido Tonelli (*Viaggio alle origini della materia e dell'universo*).

Non poteva mancare poi un ambito che ha conosciuto un tumultuoso sviluppo negli ultimi anni come quello delle neuroscienze e delle scienze cognitive. Il 3 ottobre c'è l'occasione di incontrare lo psichiatra e neuroscienziato Eric R. Kandel, premio Nobel del 2000 per aver gettato le basi della ricerca sulle connessioni sinaptiche e sulla plasticità cerebrale (*Neuroscienze e psicoanalisi*), mentre il giorno 10 è la volta di John Cacioppo, fondatore e direttore del Dipartimento di scienze cognitive e neuroscienze sociali dell'Università di Chicago (*Architettura delle emozioni umane*).

Da non perdere poi la serie di eventi dedicati al tema dell'ambiente, con le conferenze *Il clima: dilemma o inganno?*, *Riscaldamento globale: è necessario un vero e proprio approccio scientifico*, *Energia e sostenibilità: un matrimonio possibile* (tutte sabato 9) ma anche con il laboratorio *L'energia dell'acqua: un viaggio alla scoperta della più preziosa fonte di energia rinnovabile* (dal 4 al 15, dedicato alle scuole, anche per under 10) e con lo spettacolo teatrale *Terra: istruzioni per l'uso* (martedì 12).

Grande attenzione sarà dedicata poi alle nuove tecnologie, con diversi laboratori dedicati alle scuole – *Tra bit e pixel* (dal 4 al 10), *Da Gutenberg a Photoshop, viaggio all'interno della stampa* (dal 4 al 15 4), *Scopriamo la magia del 3D* (per tutta la durata della manifestazione) – e ancora con la tavola rotonda *Vivere in un mondo in Rete* (domenica 10).

Insomma, ce n'è per tutti i gusti: per selezionare ciò che più interessa rimandiamo al sito www.bergamoscienza.it che riporta il programma completo della manifestazione.

**Folco Claudi**

BERGAMOSCIENZA

**DOVE & QUANDO:**

BERGAMOSCIENZA
Dal 1° al 17 ottobre,
sedi varie
BERGAMO e provincia
Info: 035 42200100
www.bergamoscienza.it

# Un vento da spennare i polli

Un singolare esperimento ha studiato la velocità che deve avere il vento per portar via tutte le penne a un pollo. Un'impresa da IgNobel

di Marc Abrahams

direttore del bimestrale «Annals of Improbable Research», fondatore e organizzatore del premio IgNobel

In una monografia del 1975, dal titolo *La spennatura dei polli come misura della velocità del vento nei tornado*, Bernard Vonnegut considera quel che potrebbe accadere a un pollo se fosse sparato, dopo morto, da un cannone. E spiega: «Un modo per stimare il vento che si produce nel vortice di un tornado è determinare per via sperimentale quale sia la velocità dell'aria richiesta per soffiar via tutte le penne di un pollo, fenomeno di cui è noto il verificarsi nel corso di forti tempeste».

Le nozioni tradizionali su questa tecnica sono reperibili nel libro di H.A. Hazen *The Tornado*, pubblicato nel 1890, che descrive un esperimento eseguito nel 1842 dal professor Elias Loomis al Western Reserve College, in Ohio: «Il fenomeno dei gallinacei spennati ha suscitato grande attenzione in questo e altri tornado. Al fine di determinare la velocità necessaria per strappar via tali penne, il pezzo da sei libbre [2,7 chilogrammi] di cui sopra è stato caricato con cinque once [164 grammi] di polvere e, come palla [di cannone], [si è usato] un pollo appena ucciso». Dice Loomis: «Il cannone è stato puntato direttamente in direzione verticale e fatto sparare. Le penne sono arrivate all'altezza di 20 o 30 piedi [6-9 metri circa], e sono state disperse dal vento. Esaminandole, si trovò che erano state estratte in maniera netta, e presentavano solo di rado brandelli di pelle aderenti. Il corpo fu ridotto in piccoli frammenti. La velocità era di 341 miglia all'ora [548,7 chilometri]. Un pollo, quindi, che venga forzato attraverso l'aria a tale velocità è interamente ridotto a brandelli; con una velocità minore, [...] la maggior parte delle penne potrebbero essere strappate via senza mutilazione del corpo».

Più di un secolo dopo, Vonnegut, fisico dell'atmosfera all'Università di New York ad Albany, ha analizzato il procedimento. Due sono le sottigliezze che ha identificato nella procedura di sparo di carcasse di pollo con cannone. In primo luogo, scrive, «è difficile distinguere gli effetti dovuti all'esplosione avvenuta nel cannone da quelli che risultano dal movimento dell'uccello rispetto all'aria». In secondo luogo, in certi casi spennare un uccello risulta particolarmente facile, specialmente nel corso di una risposta fisiologica detta *flight-molt*. Come spiega Vonnegut, «in condizioni di stress i follicoli dell'uccello si rilassano, di modo che le penne possono esserne estratte con forza assai minore di quella richiesta in circostanze normali. È forse possibile che si tratti di un meccanismo di sopravvivenza, grazie al quale un predatore può restare con la bocca piena soltanto di piume, e l'uccello riuscire a fuggire».

La conclusione di Vonnegut è che dal momento che «la forza richiesta per rimuovere le penne dai follicoli varia entro limiti assai ampi in modo complicato e imprevedibile, il fenomeno della spennatura è, come indice, di dubbio valore». Per questo deciso rovesciamento di uno degli assunti da più lungo tempo accolti senza discussione dalla scienza, Vonnegut è stato insignito nel 1997 del premio IgNobel nel campo della meteorologia.

DIVERTIMENTI DA FISICO. Bernard Vonnegut, stimato fisico dell'atmosfera, noto per la scoperta che seminare nuclei di ioduro nelle nuvole favorisce la formazione di pioggia, ha vinto un premio IgNobel per il suo studio sul rapporto tra le penne dei polli e il vento dei tornado.

Joseph C. Justice Jr./iStockphoto

# Pesce di mare e di acqua dolce

I prodotti ittici di acque salate e di acque dolci hanno sapori e odori diversi tra loro a causa dell'adattamento ad ambienti differenti dal punto di vista chimico

di Dario Bressanini

I pesci di acqua salata sono generalmente più saporiti rispetto a quelli d'acqua dolce. Visto che l'acqua di mare contiene circa il 3 per cento di cloruro di sodio, il comune sale da cucina, si potrebbe pensare che sia questa la spiegazione della loro maggior sapidità: la maggiore salinità delle loro carni.

In realtà la concentrazione di cloruro di sodio nelle cellule dei pesci sia di mare sia di acqua dolce non è molto diversa rispetto a quella dei mammiferi di terra, ed è inferiore all'1 per cento. Una concentrazione superiore impedirebbe ai normali cicli vitali di operare correttamente. Le membrane biologiche permettono però il fenomeno dell'osmosi: la concentrazione totale di sostanze disciolte in acqua, ai lati opposti della membrana, deve essere la stessa. In caso contrario l'acqua fluirà dalla zona a minore concentrazione a quella più concentrata. Visto che i pesci di mare respirano e ingoiano acqua salata è necessario che all'interno delle loro cellule ci sia una quantità maggiore di sostanze disciolte per equilibrare la diversa pressione osmotica (questo è il termine scientifico) ai due lati della membrana. Non potendo aumentare la concentrazione di cloruro di sodio, la maggior parte degli esseri viventi marini accumula amminoacidi nelle cellule. In particolare la glicina, dal sapore dolciastro, e l'acido glutammico insieme al suo sale, il glutammato, che ha il potere di esaltare i sapori. Ne sono ricchi soprattutto i molluschi.

CONSUMARE APPENA POSSIBILE. I congelatori di casa rallentano ma non fermano la degradazione dei pesci. Quindi è bene non conservarli per troppo tempo.

Lawrence Sawyer/iStockphoto

Molti pesci, invece, per bilanciare la pressione osmotica, oltre agli amminoacidi accumulano una sostanza inodore e insapore, la trimetilammina N-ossido. Dopo la morte dei pesci, questa sostanza è convertita da enzimi e batteri in trimetilammina, il cui forte odore noi associamo al pesce di mare non più fresco. Altri pesci, come gli squali e le razze, accumulano urea, una sostanza amarognola e leggermente salata. Anche questa sostanza, dopo la morte del pesce, è rapidamente degradata, formando ammoniaca, dal caratteristico odore pungente.

Non dovendo bilanciare la pressione osmotica esterna, i pesci d'acqua dolce non accumulano queste sostanze nelle loro cellule, e quindi hanno un sapore più blando. In compenso puzzano di meno quando non sono più freschi.

Dato che in genere i pesci vivono a temperature piuttosto basse, i loro enzimi non smettono di lavorare neanche quando sono raffreddati a temperature poco inferiori a zero. Per questo il pesce surgelato continua a degradarsi, sebbene più lentamente. Durante la surgelazione gli enzimi producono dimetilammina, dall'odore vagamente simile all'ammoniaca. Per fermare gli enzimi si devono raggiungere temperature molto più basse di quelle raggiungibili in un normale surgelatore casalingo, per cui non conservateci i pesci troppo a lungo.

In più, le proteine delle fibre muscolari dei pesci sono particolarmente sensibili al congelamento. Si denaturano facilmente, perdono cioè la loro struttura, e quando il pesce è riportato a temperatura ambiente la carne può risultare asciutta e fibrosa.

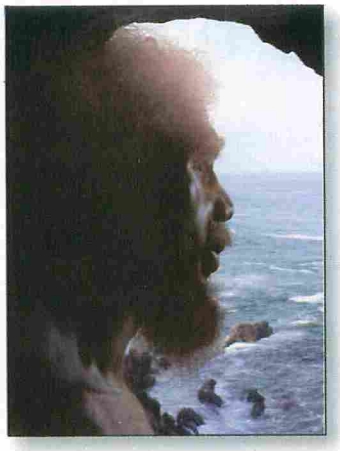
Spesso i pesci hanno anche un vero e proprio odore di mare, di cui sono responsabili i bromofenoli. Queste molecole sono prodotte da alghe e altri organismi marini a partire dal bromo, elemento abbondante nell'acqua di mare. Le onde che si frangono sulla costa diffondono i bromofenoli nell'aria, e noi ne percepiamo l'odore caratteristico che associamo al mare. I pesci che mangiano queste alghe, o che mangiano organismi che si cibano di alghe, assumono questo aroma. I pesci di allevamento non hanno questo aroma, a meno di non aggiungere bromofenoli nel mangime.

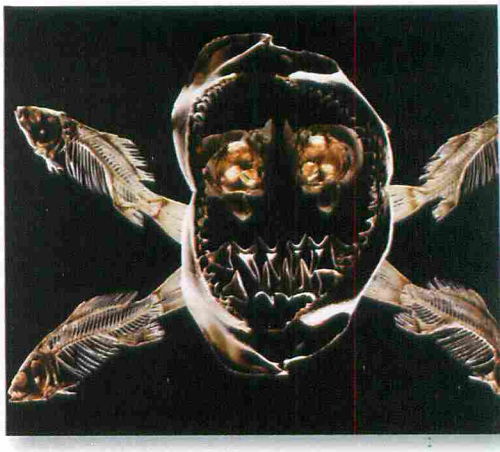
I pesci sono anche ricchi di acidi grassi polinsaturi, come gli omega-3. Questi acidi sono trasformati da vari enzimi per formare aldeidi, chetoni e alcoli, responsabili dell'odore, con note erbacee, del pesce appena pescato.

## Quando il mare salvò l'umanità

DI CURTIS W. MAREAN

Poco dopo la comparsa di *Homo sapiens*, un drammatico cambiamento delle condizioni climatiche portò le prime popolazioni sull'orlo dell'estinzione. Ecco la storia del piccolo gruppo di sopravvissuti da cui discendiamo, e di come capacità cognitive già molto avanzate permisero loro di sfruttare una particolare combinazione di risorse lungo la costa meridionale dell'Africa.





## Nuove Terre al di là del Sole

DI DIMITAR D. SASSELOV E DIANA VALENCIA

Il cielo notturno è disseminato di pianeti remoti, ma qual è il loro vero aspetto? Alcuni modelli teorici suggeriscono che un sorprendente numero di pianeti extrasolari potrebbe avere una geologia attiva e un'atmosfera e un clima simili a quelli terrestri, e persino essere adatto a ospitare forme di vita.

## Oceani: la minaccia che viene da dentro

DI MARAH J. HARDT E CARL SAFINA

Le emissioni di anidride carbonica assorbite dall'atmosfera stanno rendendo le acque oceaniche sempre più acide, mettendo a rischio la crescita e la riproduzione degli organismi marini. E il cambiamento è troppo rapido perché molte specie riescano a evolversi adattandosi alle nuove condizioni.

LE SCIENZE S.p.A.
Sede legale: Via Cristoforo Colombo 149, 00147 ROMA.

**Abbonamenti e arretrati: 199 700 721**
(02 87082433 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa)

redazione: tel. 06 49823181
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

*Direttore responsabile*
Marco Cattaneo

*Redazione*
Claudia Di Giorgio (*caposervizio*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

*Collaborazione redazionale*
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
*Segreteria di redazione:* Mauro Pelella
*Progetto grafico:* Giovanna Salvini

*Referente per la pubblicità*
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

*Pubblicità:*
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

*Distribuzione per l'Italia*
Gruppo Editoriale L'Espresso
Divisione La Repubblica,
via Cristoforo Colombo 149, 00147 Roma.

*Stampa*
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
*Copertina:* Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

*Consiglio di amministrazione*
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Alessandro Alacevich, Markus Bossle, Stefano Mignanego

*Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):*
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - agosto 2010

Copyright © 2010 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

*Editor in Chief*: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson, Christine Soares, Gary Stix, Kate Wong.

*President* Steven Inchcoombe;
*Executive vice president*: Michael Florek;
*Vice president and publisher*: Bruce Brandfon;
*Design Director*, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
*Per le traduzioni*: Andrea Capocci: *L'universo sta perdendo energia?*; Folco Claudi: *Ripulire l'aria dal carbonio*; Silvio Ferraresi: *Cosa pensano i bambini*; Andrea Cavatorti: *Vittoria alata*; Alfredo Tutino: *La guerra delle macchine*.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 163, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 163, 00147 Roma.

**ABBONAMENTI SOMEDIA S.p.A.**
**Casella Postale 10055 - 20111 Milano**
Tel.199.700721 (02 87082433 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa); Fax 02 70648237
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 70648277, Fax. 02 26681991

| | |
|---|---|
| **Italia** | |
| abb. annuale | € 39,00 |
| abb. biennale | € 75,00 |
| abb. triennale | € 99,00 |
| copia arretrata | € 7,80 |
| **Estero** | |
| abb. annuale | € 52,00 |
| abb. biennale | € 87,00 |
| abb. triennale | € 110,00 |

Accertamento diffusione stampa certificato n. 6671 del 1/12/09

# CONFERENZA REGIONALE PER LA RICERCA E L'INNOVAZIONE

**CAGLIARI**
TEATRO MASSIMO
20-21 SETTEMBRE
2010

**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

Assessorato della Programmazione, Bilancio, Credito e Assetto del Territorio


*Referente Istituzionale*
**Assessorato della Programmazione, Bilancio, Credito e Assetto del Territorio**
Ufficio di Gabinetto
Via Mameli, 88 - 09123 Cagliari
Tel. 070 6067002 Fax. 070 6064719
E-mail: prog.assessore@regione.sardegna.it

*Segreteria Organizzativa*
**Consulviaggi srl**
Via San Benedetto, 88 - 09129 Cagliari
Tel. +39 070 499242 Fax +39 070 485402
Cell. +39 348 2622349
E-mail: ricerca@consulviaggi.it


# ricerca

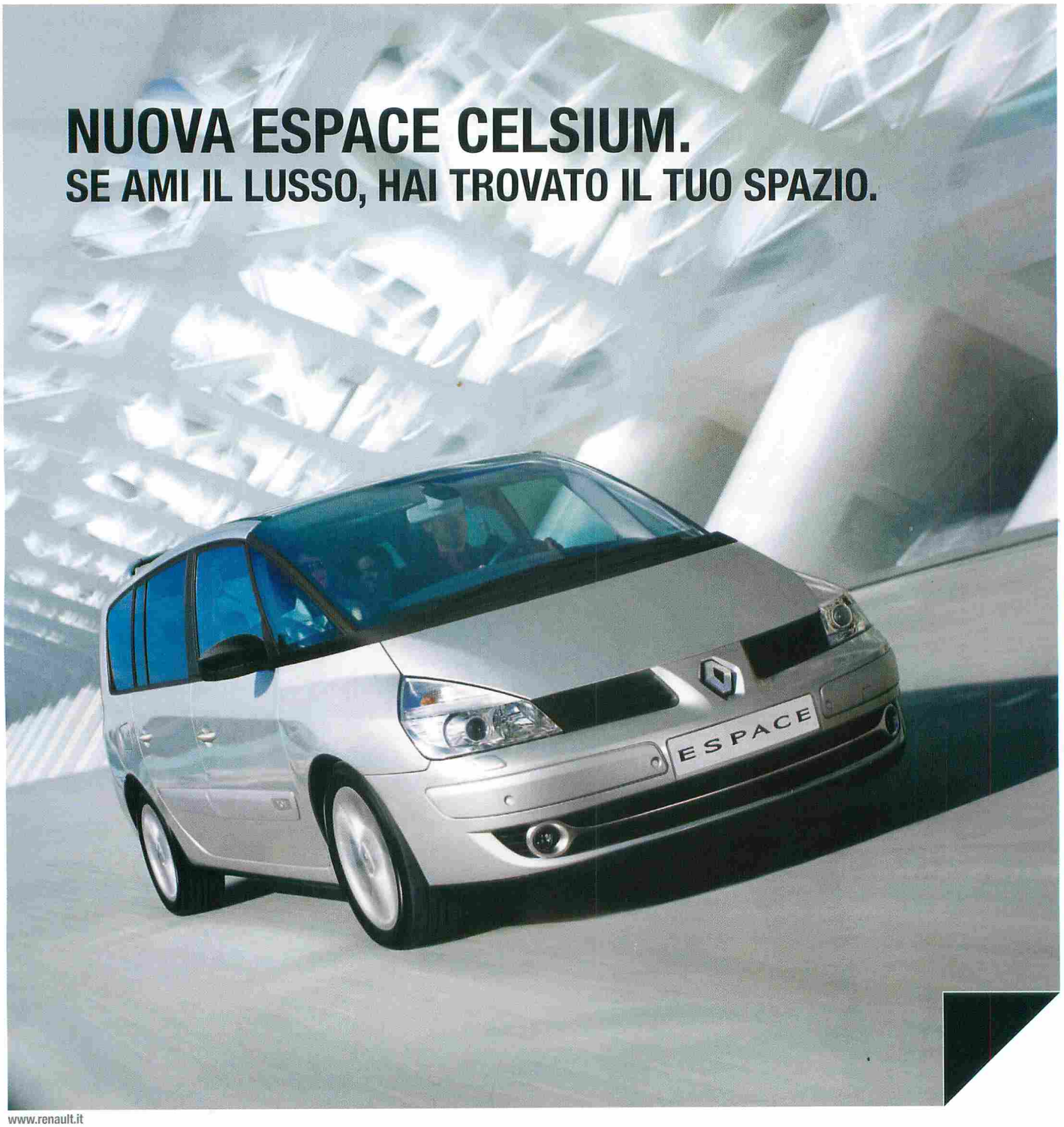
La partecipazione al convegno richiede l'iscrizione online sul sito:
**www.ricercaeinnovazionesardegna.eu**

PROGRAMMA REGIONALE DI SVILUPPO 2010-2014


UNIONE EUROPEA
REPUBBLICA ITALIANA
Progetto cofinanziato dall'Unione Europea
FESR - Fondo Europeo di Sviluppo Regionale


La Sardegna cresce con l'Europa

# NUOVA ESPACE CELSIUM.
## SE AMI IL LUSSO, HAI TROVATO IL TUO SPAZIO.




www.renault.it

3 ANNI GARANZIA
150 000 km

EURO5

DRIVE THE CHANGE

RENAULT

## NUOVA ESPACE CELSIUM 2.0 dCi 16v 175 CV A 30.500 €*.

Navigation System con Bluetooth® • Radio CD MP3 • Sellerie con trattamento Teflon® antimacchia • Cerchi in lega da 17" dall'esclusivo design Tellus • Privacy glass • Vernice metallizzata.

* Nuova Renault Espace Celsium 2.0 dCi 16v 175 cv Euro 5 con Filtro Antiparticolato. Prezzo promozionale, chiavi in mano, comprensivo degli "Eco Incentivi Renault", IVA inclusa, IPT esclusa. Offerta valida fino al 30.09.2010 in collaborazione con la Rete Renault che aderisce all'iniziativa. Consumi (ciclo misto): 7,3 l/100 km. Emissioni $CO_2$: 194 g/km. Renault sceglie elf